

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«На правах рукопису»

УДК 66.047.4/.5

До захисту допущено

Завідувач кафедри, д-р. техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
спеціалізації «Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування облад-  
нання целюлозно-паперових виробництв»

на тему: **Процес сушіння цеоліту**

Виконав: студент II курсу, групи ЛБ-71мн

Маргарян Артем Арманович

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, професор Марчевський В.М

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних  
ситуаціях, кандидат технічних наук, доцент І. М. Ковтун

Консультант з розробки стартап-проекту,

кандидат економічних наук, доцент Н. В. Юдіна

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_ Маргарян А.А.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію**  
студенту Маргаряну Артему Армановичу

**1. Тема дисертації:** «Процес сушіння цеоліту».

Науковий керівник: Марчевський Віктор Миколайович, к. т. н., професор.

Затверджена наказом по університету від « 13 » березня 2019 р. № 881-с.

**2. Термін подання студентом дисертації:** 22 травня 2019 р.

**3. Об'єкт дослідження:** процес сушіння цеоліту.

**4. Предмет дослідження:** кінетичні закономірності і параметри процесу сушіння цеоліту.

**5. Перелік питань, які потрібно розробити:**

- обґрунтувати фізичну модель процесу сушіння цеоліту;
- скласти та розв'язати математичне описання процесу сушіння цеоліту;
- перевірити адекватність математичного описання процесу сушіння цеоліту;
- експериментально визначити вплив густини теплового потоку та розміру частинок цеоліту на процес сушіння цеоліту;
- експериментально визначити гідравлічні характеристики газорозподільного пристрою;
- запропонувати алгоритм розрахунку промислового апарату для сушіння цеоліту.

**6. Перелік ілюстративного матеріалу:** складальний кресленик апарату для сушіння цеоліту А1, технологічна схема сушіння цеоліту А1, презентація магістерської дисертації.

**7. Перелік публікацій:** основний зміст магістерської дисертації представлено в 7-ми опублікованих працях, а саме: двох статтях у наукових виданнях України, чотирьох публікаціях тез доповідей на міжнародних конференціях, один патент України на корисну модель з реалізованою ліцензією на його використання.

**8. Консультанти по розділах дисертаційної роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розроблення стартап проекту	канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

**9. Дата видачі завдання:** „ 05 ” вересня 2017 р.

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Маргарян А.А.  
(підпис)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ Марчевський В.М.  
(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	2	3	4
1	Аналіз літературних і патентних джерел щодо процесу сушіння цеоліту. Обґрунтування мети та задач дослідження. Підготовка тез доповідей на конференцію.	01.09.2017-28.12.2017	
2	Розробка фізичної моделі процесу сушіння цеоліту. Обґрунтування математичного писання процесу сушіння цеоліту.	04.02.2018-01.03.2018	
3	Вибір та обґрунтування методів розв'язання математичної моделі. Підготовка тез доповідей на конференцію.	01.03.2018-30.03.2018	
4	Розробка конструкції апарату для сушіння цеоліту.	01.04.2018-31.05.2018	
5	Проведення експериментальних досліджень для визначення кінетичних закономірностей та параметрів в процесу сушіння цеоліту. Розв'язання математичної моделі в програмному середовищі MathCAD.	01.05.2018-31.05.2018	
6	Обробка та узагальнення результатів дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту. Уточнення положень математичної моделі.	01.09.2018-20.11.2018	
7	Підготовка матеріалів експериментальних досліджень до публікації в статті англійською мовою. Перевірка адекватності математичної моделі.	20.11.2018-28.12.2018	
8	Висновки та рекомендації щодо конструювання апарату для сушіння цеоліту. Підготовка тез доповідей на конференцію. Підготовка статті до публікації.	04.02.2019-30.03.2019	
9	Розроблення технологічної концепції промислового гранулятора та вдосконалення алгоритму розрахунку промислового апарату для сушіння цеоліту.	01.04.2019-20.04.2019	
10	Попередній захист дисертаційної роботи.	20.04.2019-25.04.2019	
11	Оформлення кваліфікаційної роботи. Подання до захисту.	25.04.2019-22.05.2019	

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Маргарян А.А.  
(підпис)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ Марчевський В.М.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 66.047.4/.5

Магістерська дисертація на тему: «Процес сушіння цеоліту» / НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Науковий керівник Марчевський В.М. – К., 2019. – \_\_\_\_ с. Виконавець – Маргарян А.А.

Об'єкт дослідження: процес сушіння цеоліту.

Предмет дослідження: кінетичні закономірності і параметри процесу сушіння цеоліту.

Метою роботи є встановлення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту та основних технологічних параметрів сушіння, необхідних для розробки алгоритму розрахунку і конструкції апаратів для сушіння цеоліту.

Обґрунтовано та розв'язано математичне описання процесу сушіння цеоліту, перевірено математичну модель на адекватність за критерієм Фішера із вірогідністю повторюваності результатів розв'язку 97%.

Експериментально визначено кінетичні закономірності та основні параметри процесу сушіння цеоліту, а також визначено вплив густини теплового потоку та розміру фракції на процес сушіння цеоліту.

Експериментально досліджено гідравлічний опір газорозподільчого пристрою для використання в розрахунку промислових апаратів для сушіння цеоліту.

Підтверджено дослідженнями, що процес сушіння цеоліту за підвищення теплового потоку прискорюється в першому періоді зі збільшенням температури зовнішньої поверхні цеоліту, а зі збільшенням розміру фракції цеоліту час сушіння збільшується зі зменшенням температури в другому періоді.

ПРОЦЕС СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ. КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ.

## РЕФЕРАТ

УДК 66.047.4/.5

Магистерская диссертация на тему: «Процесс сушки цеолита» / НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского»; Научный руководитель Марчевский В.М. - К., 2019. - \_\_\_\_ с. Исполнитель - Маргарян А.А.

Объект исследования: процесс сушки цеолита.

Предмет исследования: кинетические закономерности и параметры процесса сушки цеолита.

Целью работы является установление кинетических закономерностей процесса сушки цеолита и основных технологических параметров сушки, необходимых для разработки алгоритма расчета и конструкции аппаратов для сушки цеолита.

Обосновано и решено математическое описание процесса сушки цеолита, проверено математическую модель на адекватность по критерию Фишера с вероятностью повторяемости результатов решения 97%.

Экспериментально определены кинетические закономерности и основные параметры процесса сушки цеолита, а также определено влияние плотности теплового потока и размера фракции на процесс сушки цеолита.

Экспериментально исследованы гидравлическое сопротивление газораспределительного устройства для использования в расчете промышленных аппаратов для сушки цеолита.

Подтверждено исследованиями, процесс сушки цеолита при повышении теплового потока ускоряется в первом периоде с увеличением температуры внешней поверхности цеолита, а с увеличением размера фракции цеолита время сушки увеличивается с уменьшением температуры во втором периоде.

ПРОЦЕСС СУШКИ ЦЕОЛИТА. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШЕК ЦЕОЛИТА. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЦЕОЛИТА.

## **THE ABSTRACT**

UDC 66.047.4/.5

Master's dissertation on the topic: "The process of drying zeolite" / NTUU "KPI on behalf of Igor Sikorsky"; Scientific supervisor Marchevsky V.M. - K., 2019. - \_\_\_\_ p.

Artist - Margarian AA

Object of research: the process of drying zeolite.

Subject of research: kinetic regularities and parameters of the process of drying zeolite.

The purpose of the work is to establish the kinetic regularities of the zeolite drying process and the basic technological drying parameters, which are necessary for the development of the algorithm for calculating and designing the apparatus for drying the zeolite.

The mathematical description of the zeolite drying process has been substantiated and solved, and the mathematical model has been verified for adequacy by Fisher's criterion with a probability of repeatability of the solution results of 97%.

The kinetic regularities and the main parameters of the drying process of zeolite have been determined experimentally, as well as the influence of the density of the heat flow and the size of the fraction on the zeolite drying process has been determined.

The hydraulic resistance of the air-distributing device has been experimentally investigated for use in the calculation of industrial apparatus for zeolite drying.

Studies have confirmed that the process of zeolite drying with an increase in the heat flow is accelerated in the first period with an increase in the temperature of the outer surface of the zeolite, and as the size of the zeolite fraction increases, the drying time increases with the decrease of the temperature in the second period.

**ZEOLITE DRYING PROCESS. MATHEMATICAL MODEL OF ZEOLITE DRYING PROCESS. KINETIC REGULARITIES OF ZEOLITE DRYING PROCESS.**

## Зміст

ВСТУП.....	11
1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	15
1.1. Стан розвитку галузей застосування природних цеолітів .....	15
1.2. Аналіз властивостей природного цеоліту .....	16
1.3. Аналіз існуючих конструкцій апаратів псевдозрідженого шару для сушіння та їх газорозподільчих пристроїв .....	18
1.4. Загальні підходи до моделювання процесу сушіння .....	27
1.4.1. Теоретичне моделювання тепломасообміну в дисперсних тілах.....	27
1.4.2. Експериментальні залежності кінетики сушіння.....	29
1.5. Висновки мета та задачі дослідження .....	32
2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ .....	34
2.1. Фізична модель процесу сушіння цеоліту .....	34
2.2. Математична модель процесу сушіння цеоліту .....	38
2.3. Результати математичного моделювання та аналіз .....	42
2.4. Висновки.....	48
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ .....	49
3.1. Експериментальне дослідження кінетичних закономірностей конвективного сушіння цеоліту.....	49
3.2. Опис експериментальної установки для визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту .....	49
3.3. Методика проведення експерименту з дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту .....	51
3.4. Результати досліджень кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту .....	51



3.5.	Визначення похибки вимірювань .....	57
3.6.	Перевірка адекватності математичної моделі .....	57
3.7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	60
3.7.1.	Виробничий шум .....	61
3.7.2.	Електробезпека .....	61
3.7.3.	Розрахунок захисного заземлення .....	63
3.7.4.	Повітря робочої зони .....	66
3.7.5.	Пожежна безпека в разі надзвичайної ситуації.....	67
3.8.	Висновки.....	69
4.	ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	70
4.1.	Схема сушіння цеоліту .....	70
4.2.	Алгоритм розрахунку апарату для сушіння цеоліту.....	71
4.3.	Методика розрахунку апарату для сушіння цеоліту .....	72
4.3.1.	Матеральний баланс.....	72
4.3.2.	Тепловий баланс .....	73
4.3.3.	Кінетика процесу сушіння.....	75
4.3.4.	Гідродинамічний розрахунок.....	76
4.3.5.	Розрахунок основних розмірів апарату.....	77
4.3.6.	Розрахунок газорозподільчого пристрою .....	77
4.3.7.	Гідравлічний розрахунок.....	78
4.3.8.	Розрахунок на міцність зварного з'єднання днища дифузора.....	78
4.3.9.	Розрахунок газорозподільчої решітки на жорсткість.....	79
4.4.	Рекомендації щодо впровадження апарату для сушіння цеоліту.....	80
4.5.	Висновки.....	80

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	81
5.1. Опис ідеї проекту.....	81
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту .....	83
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	83
5.4. Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером .....	87
5.5. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту .....	90
5.6. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	93
5.7. Висновки.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
ВЫВОДЫ .....	100
CONCLUSIONS .....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	102
Додаток А. Розв’язок математичної моделі .....	107
Додаток Б. Результати експериментів .....	160
Додаток В. Експериментальне визначення коефіцієнту гідравлічного опору газорозподільчого пристрою.....	219
Додаток Г. Фактори ризику стартап проекту.....	223
Додаток Д. Лист від потенційного замовника .....	226
Додаток Е. Технічне завдання від компанії «Цеоліт-Біо».....	228
Додаток Ж. Патент на корисну модель .....	230
Додаток З. Ліцензія на використання патенту .....	236
Додаток И. Публікації автора .....	239

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сушіння наповнювача паперу (цеоліту) є вкрай важливим, оскільки цеоліт – це матеріал, здатний поглинати як пари вологи, так і запахи, інертні гази, та інші речовини на рівні молекулярного сита. Визначальним процесом для отримання якісного природного цеоліту є процес сушіння, оскільки в природному стані він містить вологу. Завдяки цьому значно розширюється поле можливостей використання паперу і картону з таким наповнювачем. Тому дослідження сушіння цеоліту з метою отримання кінетичних закономірностей та основних параметрів процесу є актуальним [1].

Розвиток впровадження цеолітів йде швидкими темпами. Тому, для забезпечення великого попиту на тару і упаковку з цеолітом, потрібне всебічне вдосконалення застарілого обладнання та розроблення нового. Процес сушіння цеоліту досить енергоємний. Нагрівання цеоліту здійснюють шляхом конвективного теплообміну у псевдозрідженому шарі, теплоносієм, нагрітим до високих температур. Наукові методи розрахунку процесу сушіння цеоліту в літературі висвітлено недостатньо. Тому дослідження кінетики сушіння цеоліту та створення обґрунтованої методики розрахунку процесу є задачами актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська робота відповідає напрямку наукових досліджень Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і виконувалась згідно плану науково-дослідної роботи кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв. Робота безпосередньо пов'язана з договорами на проведення науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт за замовленням компанії «Цеоліт-Біо».

**Мета і завдання роботи.** Метою роботи є встановлення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту та основних технологічних параметрів сушіння, необхідних для розробки алгоритму розрахунку для проектування енергоефективного помислового обладнання для сушіння цеоліту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати стан вирішення проблеми за матеріалами вітчизняних і зарубіжних публікацій та обґрунтувати мету дослідження цеоліту;
- розробити фізичну і математичну моделі процесу сушіння цеоліту;
- виконати розрахунок математичної моделі і аналіз числового моделювання;
- скласти лабораторну установку для експериментального дослідження кінетики сушіння цеоліту;
- провести комплексні експериментальні дослідження кінетики сушіння цеоліту і визначити залежності, які описують зміну температури цеоліту в залежності від температури повітря, а також зміну вологовмісту із часом;
- знайти залежності питомих енерговитрат від параметрів процесу з метою зменшення теплових втрат при сушінні цеоліту;
- розробити алгоритм розрахунку сушильного апарату;
- передати результатів дисертаційної роботи до впровадження.

**Об'єктом дослідження** є процес сушіння цеоліту.

**Предметом дослідження** є кінетичні закономірності і параметри процесу сушіння цеоліту.

**Методи дослідження.** Теоретичним підґрунтям дисертаційної роботи є фундаментальні та прикладні положення теорії процесів та апаратів хімічної технології, тепло- й масообміну, фізичне і математичне моделювання.

Експериментальні дослідження проведені на комп'ютеризованій установці з використанням сучасних високоточних вимірювальних приладів. Результати досліджень використані для перевірки адекватності математичної моделі та розрахунку задач математичного описання процесу сушіння цеоліту.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:**

- науково обґрунтовано процес сушіння природного цеоліту у псевдозрідженому шарі.
- запропоновано фізичну модель процесу сушіння цеоліту;
- теоретично та експериментально визначено кінетичні залежності процесу сушіння цеоліту;

- визначено вплив густини теплового потоку на кінетичні закономірності процесу сушіння цеоліту;

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:

Апарат псевдозрідженого шару для сушіння цеоліту захищено патентом України на корисну модель №115491, та продано ліцензію №Л/17-11 від 18.12.2017 на використання об'єкту прав інтелектуальної власності.

Використано кінетичні закономірності та основні параметри процесу сушіння цеоліту для створення алгоритму розрахунку енергоефективного промислового апарату для сушіння цеоліту.

Розроблено стартап-проект впровадження дисертаційної роботи у виробництво.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці апарату для сушіння цеоліту в псевдозрідженому шарі, та в дослідженні процесу сушіння цеоліту, в розробці алгоритму розрахунку апарату для сушіння цеоліту, в проведенні експериментальних досліджень сушіння цеоліту, в розробці фізичної та математичної моделей процесу сушіння цеоліту, з подальшим розв'язанням математичної моделі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались на XIII, XV та XVI міжнародних науково-практичних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (Київ, Україна 2017, 2018, 2019).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 2 статті у наукових фахових виданнях України, що індексуються в наукометричних базах даних «Technology audit and production reserves» випуск №1/3(45) та «Інтернаука» випуск №8(70).); 1 патент України на корисну модель №115491, ліцензія №Л/17-11 від 18.12.2017 на використання об'єкту прав інтелектуальної власності, 4 тез доповідей в збірниках тез доповідей XIII-XVI міжнародних науково-практичних конференцій студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання".

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає \_\_\_\_ сторінок, у тому числі \_\_\_\_ додатків на \_\_\_\_ сторінках. Обсяг основної частини дисертації становить 99 сторінок. Основна частина містить 41 рисунок і 26 таблиць. Список використаних літературних джерел складається із 38 найменувань на 4 сторінках.

## **1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1. Стан розвитку галузей застосування природних цеолітів**

На сьогоднішній день цеоліт широко застосовується в багатьох галузях, серед них можна виділити агрономічну, харчову, водоочищення, очищення повітря, екологія, медицина, будівництво, хімічна промисловість, нафтогазова промисловість, розведення тварин, риби, птахів та бджіл [1].

В аграрному секторі велике місце займає використання цеолітів в якості основи для штучних ґрунтів (NASA провела ряд експериментів) [2], в якості добрива, аератора (вентилювання ґрунтів), пролонгатора (подовження дії інших добрив) та природного регулятора вологості (адсорбує та поступово віддає вологу) в садівництві, вирощування полуниці та суниці.

В харчовій галузі застосовується для очищення етилового спирту від залишків води, в якості харчового антисептику, в якості харчового адсорбенту (молочна галузь), та в якості наповнювача до картону для пакування, щоб підвищити термін зберігання овочів та фруктів при зберіганні та транспортуванні [1]. Завдяки тому, що висушений природний цеоліт додають у картон, фрукти та овочі зберігаються значно довше, оскільки цеоліт здатний поглинати кисень з вивільненням азоту, та додатково утримувати постійну вологість, що дозволяє сповільнити процес псування.

Також, не останнє місце природний цеоліт займає і в очищенні води, як питної, так і поверхневої, як в побуті (побутові фільтри), так і в промислових масштабах (очищення стічних вод від тяжких металів та зважених частинок) поступово витісняючи морально застаріле вугілля.

Особливу роль цеоліти відіграють у рекультивації земель (екологія), медицині, фармацевтиці (вирівнює рівень рН, гемостатик, ентеросорбент), косметичних засобах (наповнювач), в будівництві (збільшує міцність та зносостійкість), хімічній галузі (миючі засоби, папір, картон, мінеральні добрива, синтетичні цеоліти), нафтогазовій промисловості (розділення та зневоднення рідин), тварин-

ництві (комбікорм, поглинач запахів), розведенні риб (збільшує репродуктивність), птахів (елемент харчування) та бджіл (допомагає зимувати, створюючи оптимальний мікроклімат) [1].

## 1.2. Аналіз властивостей природного цеоліту

Певний розмір пор і внутрішніх порожнин в обсязі цеоліту характеризують його як відмінний сорбент для багатьох неорганічних і органічних речовин. У сорбційні канали цеоліту можуть проникнути молекули, розмір яких не перевищує  $2 \div 9$  Ангстрем. Природні зневоднені цеоліти здатні поглинати воду, гази, рідини і тверді речовини.

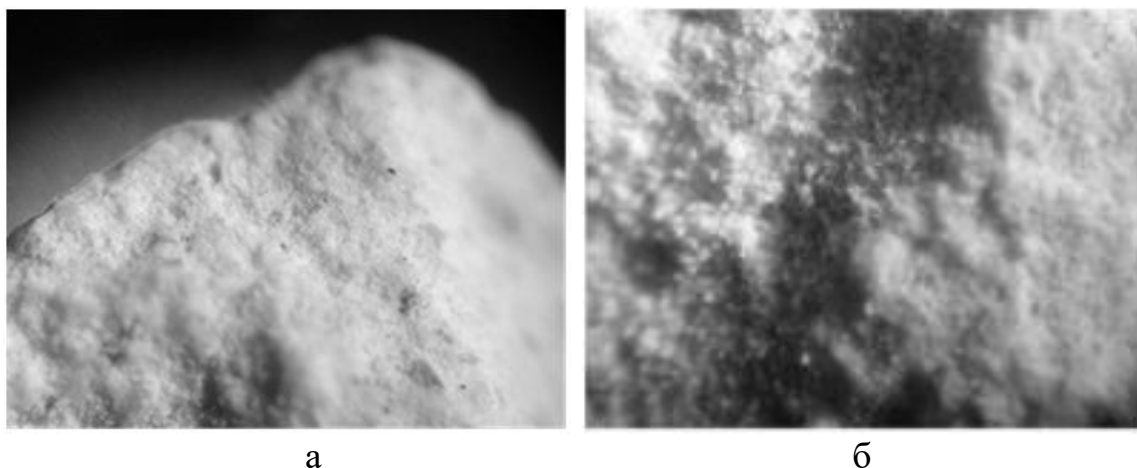
Висока інтенсивність адсорбції обумовлена високою пористістю цеолітів, яка може досягати 47% [3].

Основні фізико-механічні властивості цеоліту [3]:

Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	2,41
Об'ємна маса, $\frac{\text{т}}{\text{м}^3}$	1,83
Насипна густина, $\frac{\text{т}}{\text{м}^3}$	1,1
Пористість загальна, %	33
Теплоємність, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$0,83 \div 1$
Теплопровідність, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	0,14
Загальна вологість, %	до 30
Межа міцності при стисненні, МПа	$8 \div 15$
Динамічний вологовміст, $\frac{\text{мг}}{\text{см}^3}$	$90 \div 160$

Загальний вид мінералу представлений нижче (рис. 1). При збільшенні можна спостерігати шорстку поверхню цеоліту, яка визначає можливість використання його в якості сорбенту для видалення, зважених і колоїдних домішок з води [3].



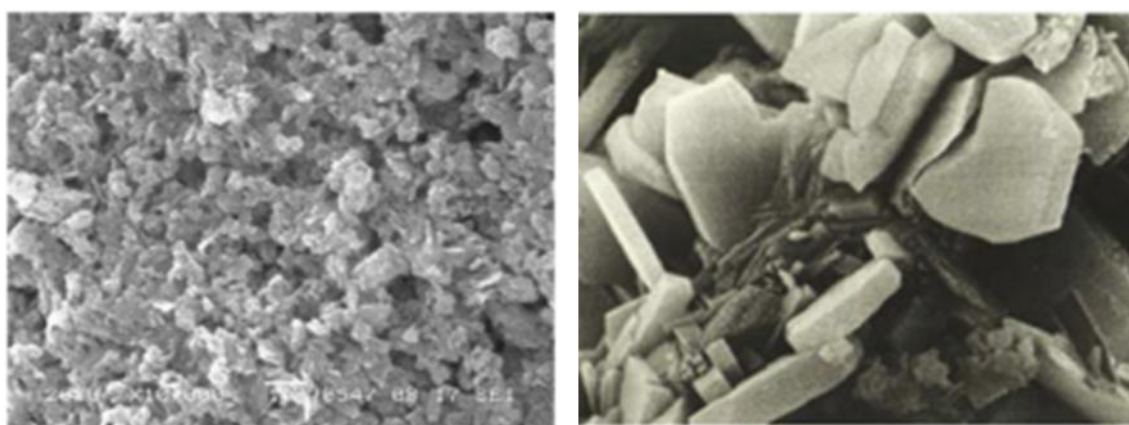


а

б

Рисунок 1 – Цеоліт: а) загальний вигляд; б) вид при збільшенні

Фото поверхні цеоліту (рис. 2) зі збільшенням в 10000 раз показує наявність в його структурі вхідних «вікон», пор і каналів [3].



а

б

Рисунок 2 – Поверхня цеоліту зі збільшенням: а)  $\times 2000$ ; б)  $\times 10000$  [3]

Особливості будови цеоліту (шорстка поверхня, наявність пір і каналів, вхідних вікон) пояснюються каркасною структурою будови. Каркас складається з *тетраедрів*, що утворюють вершинами восьмичленні кільця, створюючи, таким чином, канали в структурі цеоліту. Усередині каналів розташовуються молекули води («цеолітова вода»), а так само катіони лужних і лужно-земельних металів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ). Маючи велику кількість вхідних вікон на поверхні, структуру, пронизану каналами, комплекс катіонів всередині себе, з'являється можливість використовувати цеоліт як «молекулярне сито» і заміщати катіони, здатні пройти крізь молекулярне вікно на структурні катіони мінералу [3].

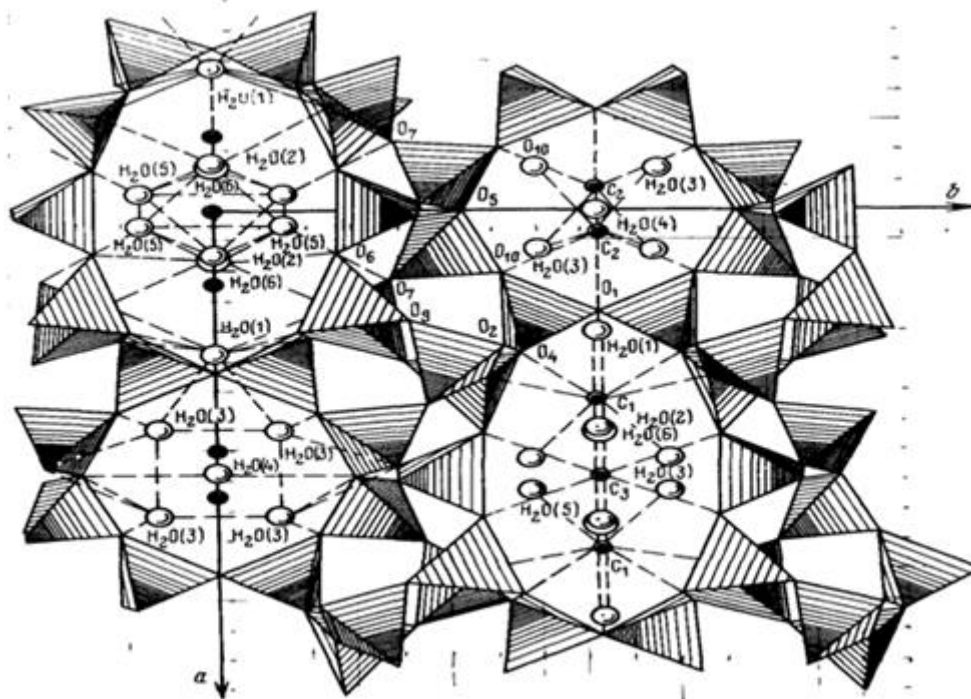


Рисунок 3 – Структура молекул цеоліту

Зовнішня поверхня цеоліту зернового  $0,8 \div 1,2$  мм має площу поверхні, рівну  $18 \text{ м}^2 / \text{г}$ . Так як простір мікропор цеоліту недоступно для зважених і колоїдних частинок, то поверхня, доступна для адгезії зважених і колоїдних частинок, склала  $1 \div 2 \text{ м}^2 / \text{г}$ . Для порівняння, площа ефективною шорсткою поверхні зерен кварцового піску складає всього  $0,12 \text{ м}^2 / \text{г}$ .

Важливо відзначити, що іонообмінний потенціал по  $\text{NH} + 4$  цеоліту становить  $1,23 \text{ мг-екв/г}$ , а розмір входних вікон  $3,5 \div 4,8$  Ангстрем. Показники щодо кількості замінних катіонів, мг-екв/г:  $\text{Ca}^{2+} - 1,08$ ,  $\text{Na}^+ - 0,13$ ,  $\text{K}^+ - 0,02$ . Таким чином, цеоліт є високоефективним сорбентом-іонообмінником.

### 1.3. Аналіз існуючих конструкцій апаратів псевдозрідженого шару для сушіння та їх газорозподільчих пристроїв

В сучасних апаратах псевдозрідженого шару основною відмінністю є газорозподільчий пристрій, адже саме його конструкція визначає основні параметри псевдозрідження.

Розглянемо конструкцію апарату псевдозрідженого шару [4].

Схема апарату зображена на рисунку 4. Оброблювана сировина вводиться до порожнини корпусу 1 через патрубок 4 на газорозподільну решітку 2. Готовий продукт виводиться через патрубок 5. Через патрубок 6 підводиться теплоносій, а через патрубок 7 він відводиться. Патрубок введення оброблюваної сировини розміщено під кутом  $\beta$  до порожнистого корпусу 1, а задню стінку 9 патрубку введення оброблюваної сировини 4 виконано у перфорованому вигляді.

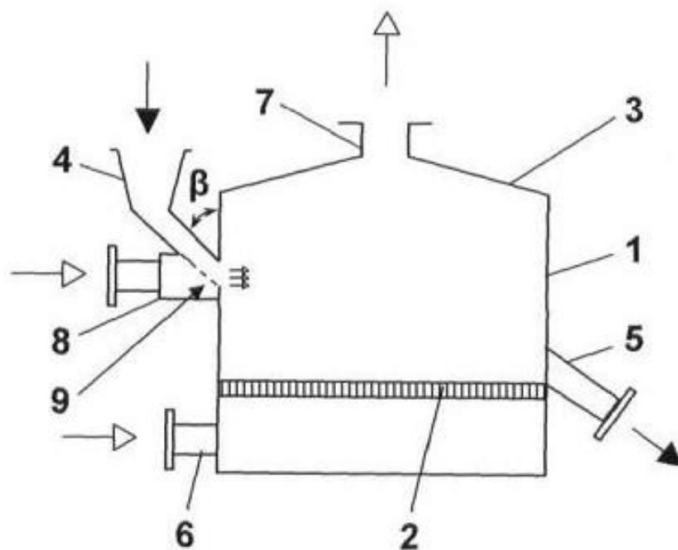


Рисунок 4 – Схема апарату псевдозрідженого шару

1 – корпус, 2 – газорозподільча решітка, 3 – кришка, 4 – патрубок для введення сировини, 5 – патрубок для виведення сировини, 6 – патрубок введення теплоносія, 7 – патрубок виведення відпрацьованого теплоносія, 8 – штуцер для підведення зріджувального агента, 9 – задня стінка патрубку введення сировини

Завдяки задній стінці 9 відбувається руйнування можливих грудок (агломератів) оброблюваної сировини та рівномірне розподілення їх по об'єму псевдозрідженого шару.

Перевагою такої конструкції є простота виконання.

Недоліком є можливе забивання отворів перфорованої задньої стінки агломератами цеоліту, що може призвести до погіршення введення оброблюваної си-

ровини та накопичення матеріалу за стінкою, відсутність порогу перед патрубком для виведення сировини 5, спричинить винос матеріалу і високу кінцеву вологість.

Розглянемо конструкцію газорозподільної решітки апарату псевдозрідженого шару (рис. 5) [5].

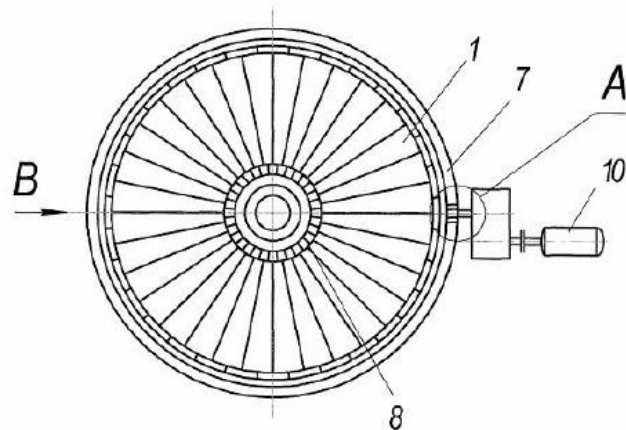


Рисунок 5 – Поперечний переріз апарату

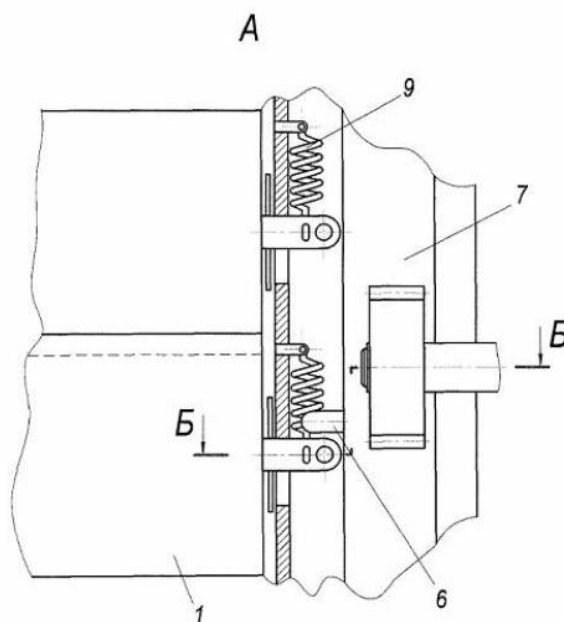


Рисунок 6 – Виносний елемент А

Газорозподільна решітка апарату псевдозрідженого шару працює таким чином. Вмикання приводу 10 приводить в обертання шестерню 7, штифти 6 якої

входять у зачеплення важелями 5 (рисунок 1.8) радіальних пластин 1. При подальшому переміщенні штифтів 6 радіальні пластини 1 зміщуються, торсійний стрижень 8 при цьому скручується, наступне переміщення штифта 6 забезпечує поворот відповідної радіальної пластини 1 навколо осі торсійного стрижня 8 на кут  $\varphi$ , при цьому важіль 5 виходить із зачеплення зі штифтом 6 і повертається в початкове положення (рис. 8).

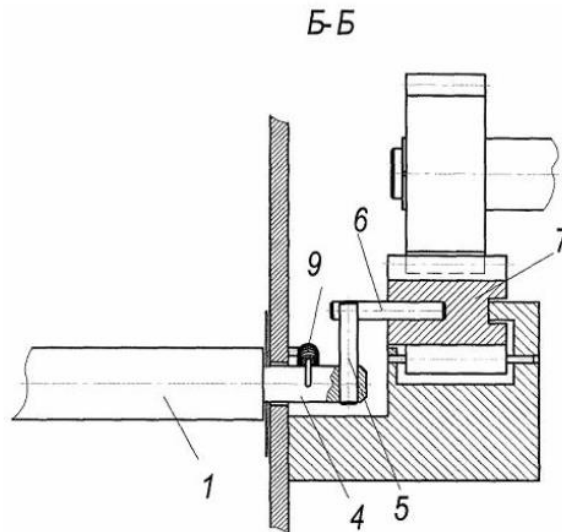


Рисунок 7 – розріз Б-Б

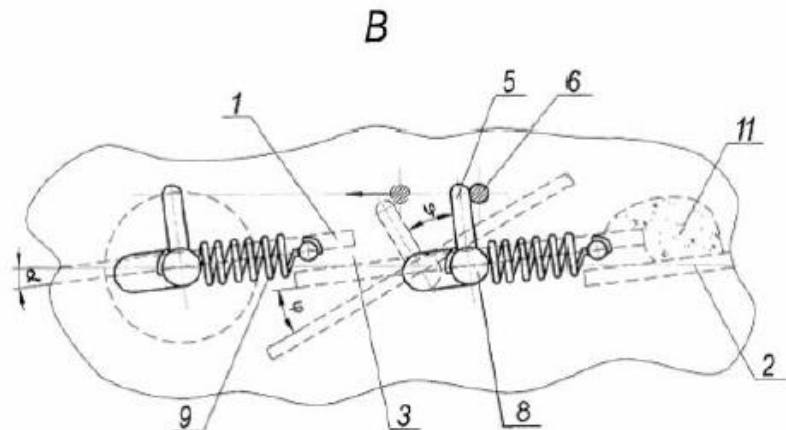


Рисунок 8 – Вид В

Під час руху радіальної пластини 1 у зворотному напрямку вона при повороті навколо повздовжньої осі 2 наштовхується на стопорний гвинт, внаслідок чого відбувається різке гальмування її руху (удар). При цьому в агломератах 11

матеріалу виникають інерційні сили, що відривають його від поверхні радіальних пластин 1 (рисунок 1.8). Послідовна дія приводу 10 на радіальні пластини 1 спричинює їхню вібрацію, що сприяє очищенню радіальних пластин 1 від агломератів 11 та подальшому їх руху в зону вивантаження апарату.

Перевагою даного газорозподільного пристрою є те, що агломерати не будуть заважати процесу.

Недоліками виступають просипання матеріалу через газорозподільний пристрій, нестійкість псевдозрідженого шару через постійні коливання радіальних пластин, високий рівень шуму.

Розглянемо конструкцію розподільної решітки (рис. 9) апарату псевдозрідженого шару [6].

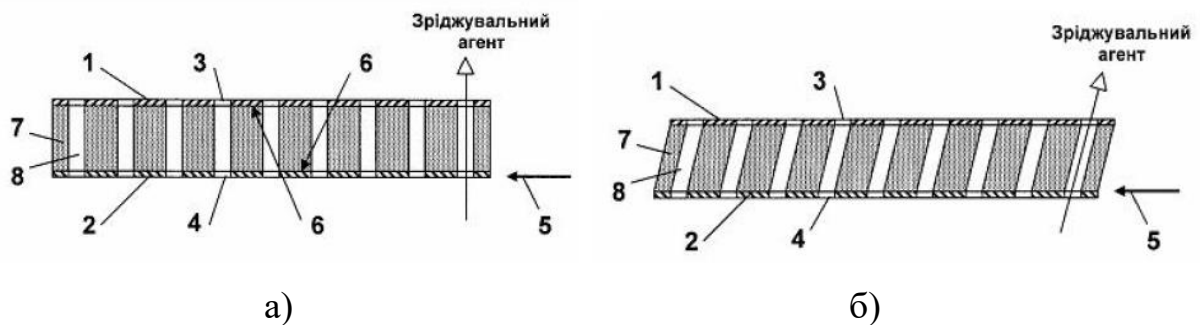


Рисунок 9 – Розподільна решітка

Залежно від необхідності значення певної гідромеханіки псевдозрідженого шару в апараті за допомогою механізму 5 пластину 2 зміщують відносно пластини 1. При цьому осі відповідних отворів 3 і 4 пластин 1 і 2 зміщуються одна відносно одної, і канали 8 еластичної вставки 7 відхиляються від вертикального положення (рис. 9.б). При цьому можна регулювати ступінь нахилу каналів 8 до вертикалі.

Переваги: можливість регулювання потоків повітря нахилом осей канавок.

Недоліки: еластичний матеріал гірше витримує високі температури при сушінні, оскільки цеоліт абразивний, можливе швидке спрацювання гнучкого матеріалу, низька жорсткість решітки.

Розглянемо конструкцію апарату псевдозрідженого шару [7].

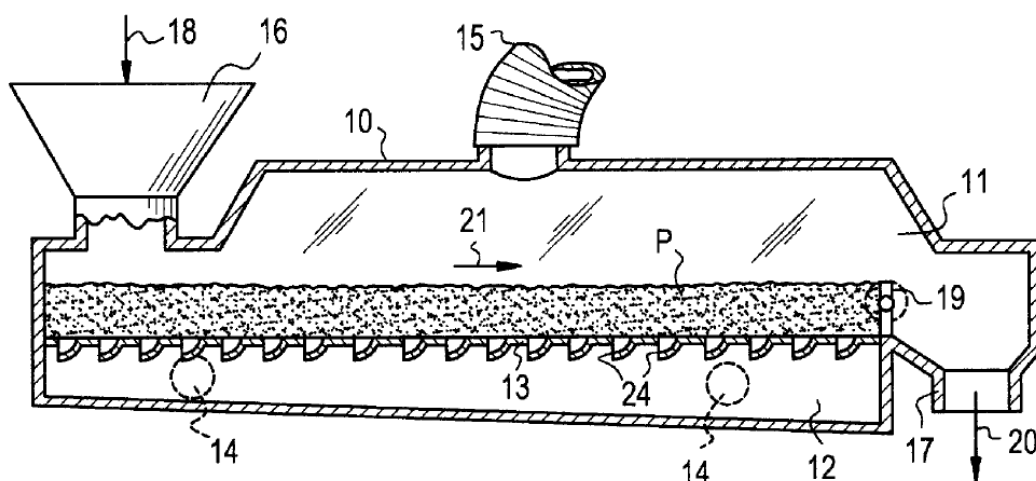


Рисунок 10 – Апарат псевдозрідженого шару

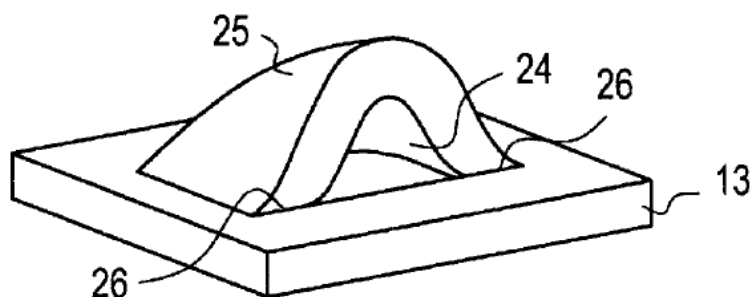


Рисунок 11 – Отвір газорозподільного пристрою

На рисунку 1.10 показано конвективний апарат псевдозрідженого шару, який, наприклад, може бути використаний для сушіння частково висушеного матеріалу. Апарат складається з корпусу 10 витягнутої форми, який має внутрішню порожнину, розраховану на два рівні 11 та 12, розділених перфорованою плитою 13, яка закріплена на внутрішніх стінках корпусу 10. Нагрітий газ або повітря подається до нижньої камери 12 корпусу 10 через патрубки для введення газу 14, та виводиться з верхньої камери 11 корпусу 10 через патрубок 15, який може, наприклад бути підключений до циклону, охолоджувача, та газ буде виведений в атмосферу. На одному кінці корпус 10 містить патрубок 16 для подачі продукту, який входить до верхньої камери 11, розташованої над перфорованою плитою 13. На іншому кінці корпус 10 містить патрубок 17 для виведення продукту, який також з'єднаний з верхньою камерою 11. Поріг 19 підтримує постійну висоту псевдозрідженого шару.

Переваги: простота конструкції, мінімальна вірогідність просипання матеріалу через решітку, забезпечений рух матеріалу від патрубку подачі до патрубку вивантаження.

Недоліки: низька жорсткість решітки.

Розглянемо конструкцію газорозподільчого пристрою (рис. 12) апарату псевдозрідженого шару [8].

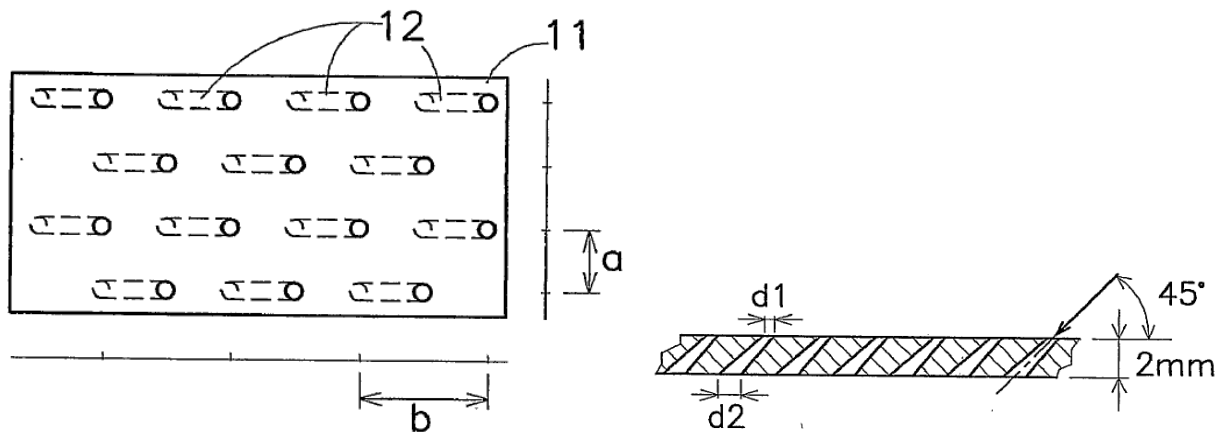


Рисунок 12 – Газорозподільна пластина

Отвори 12 в перфорованій плиті 11 розташовані в шаховому порядку. Осі цих отворів нахилені у вертикальній площині на кут  $45^\circ$  до поверхні плити. Вони можуть бути виконані конічної форми, як показано на рисунку 12.

Переваги: завдяки тому, що отвори будуть виконані конічної форми, швидкість газу зросте, завдяки розміщенню отворів у шаховому порядку збільшиться стійкість псевдозрідженого шару.

Недоліки: можливе просипання матеріалу через перфоровану плиту під час зупинок.

В якості основних агрегатів сучасних схем виробництва використовують млини самоздрібнювання «Аерофол» (рис. 13) (британський патент № 696164).

У цих млинах процес розмелювання суміщений з сушінням, а в якості тіл, що розмелюють використовуються шматки матеріалу, що розмелюється, вони піднімаються поличками барабана на висоту  $5 \div 10$  м і падають, подрібнюючи шматки шару, і подрібнюються самі до критичних діаметрів  $25 \div 75$  мм. Фракція  $0 \div 1$  мм виноситься з млина потоками теплоносія.



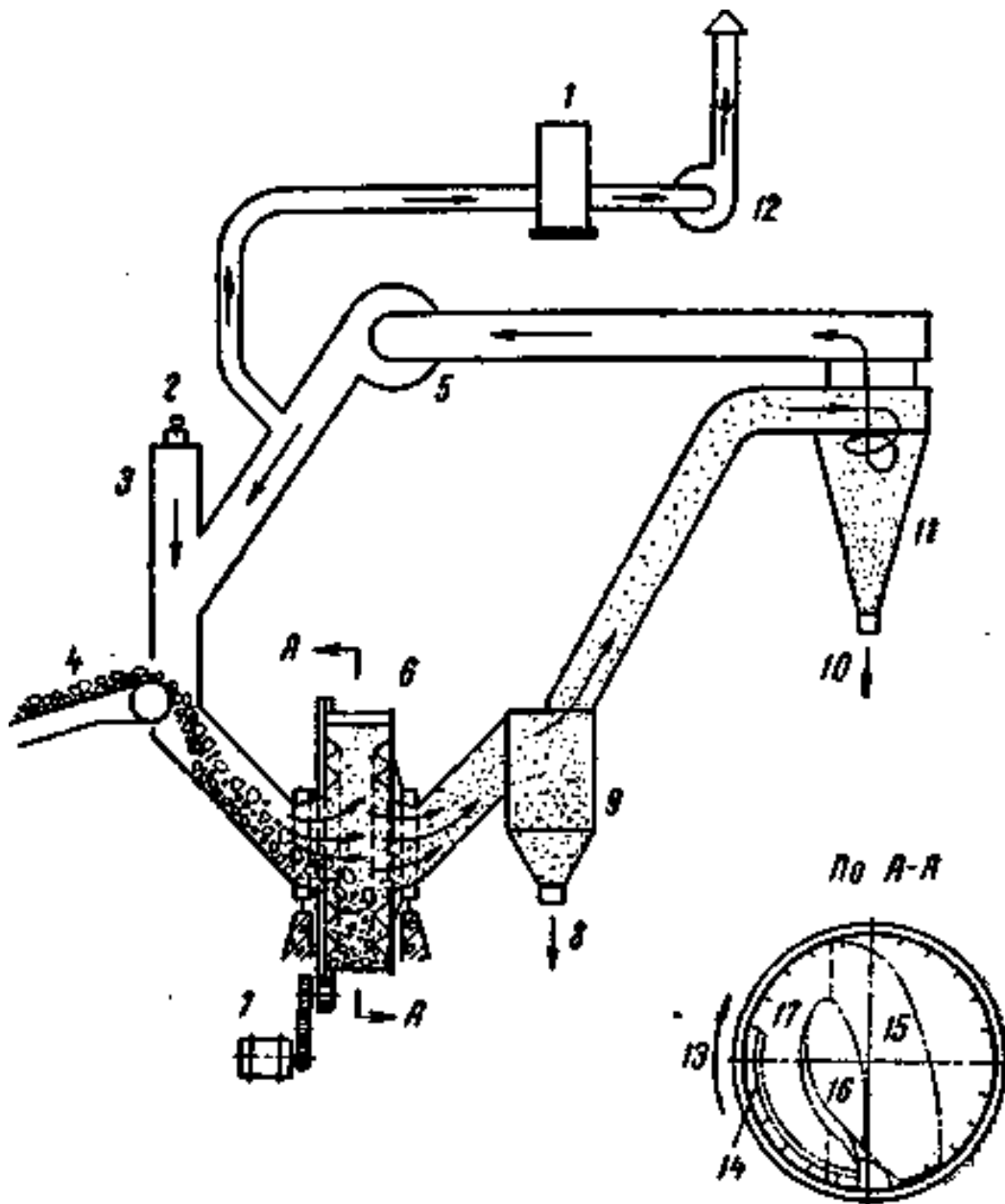


Рисунок 13 – Принципова схема установки млина «Аерофол»:

1 - скруббер Вентурі або рукавні фільтри для знепилювання часткового відсмок-  
таного теплоносія; 2 - форсунка; 3 - камера згоряння; 4 - вихідний матеріал; 5 -  
головний вентилятор; 6 - млин «Аерофол»; 7 - двигун приводу; 8 - вихід круп-  
ної фракції подрібненого матеріалу; 9 - сепаратор; 10 - вихід тонкого продукту;  
11 - циклон; 12 – вентилятор витяжний; 13 - зона швидкості обертання млина  
( $87 \div 98\%$  критичної швидкості); 14 - внутрішні лопаті, що піднімають мате-  
ріал; 15 - зона падіння крупнокускового матеріалу; 16 - зона падіння дрібного  
матеріалу; 17 - зона абразивного зносу

До недоліків млинів «Аерофол» слід віднести: великі габарити і металоємність конструкції (діаметр барабана до 11 м), завали млина шматками критичних діаметрів  $25 \div 75$  мм, підвищена витрата енергії вентиляторами системи сепараційного вивантаження, великі теплові втрати поверхнею обертового барабана, дуже велика ступінь подрібнення в одному млині  $= 250$  ( $250/1 = 250$ ), що викликає значні витрати на розмелення.

Для тонкого помелу використовуються млини самоздрібнювання мокрого розмелювання типу «Каскад» (рис. 14) [9], а також звичайні кульові млини. Млини мокрого розмелювання застосовують, коли сухий помел неможливий внаслідок злипання частинок.

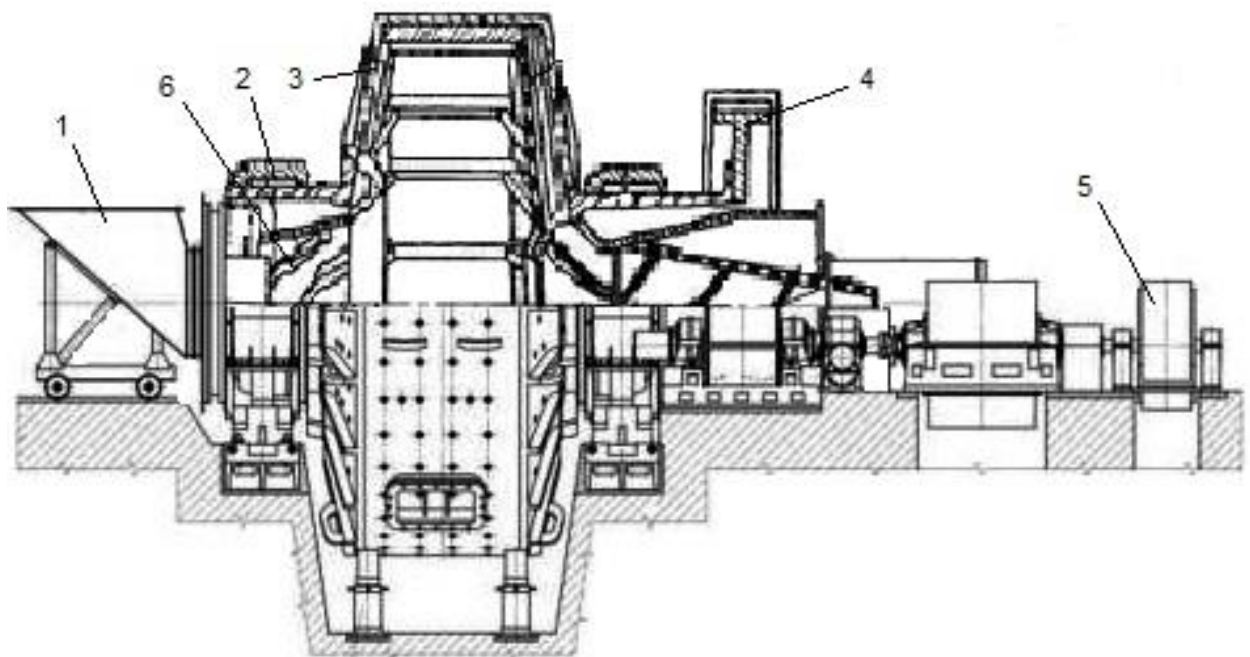


Рисунок 14 – Млин «Каскад» для мокрого розмелювання

1 - відкочувана завантажувальна лійка; 2 - підшипник; 3 - корпус млина; 4 - зубчастий вінець приводу; 5 - електродвигун; 6 - спіраль подачі руди

Основний недолік млинів мокрого розмелювання в тому, що підсушений цеоліт в млинах «Аерофол» необхідно повторно намочити і отриману однорідну суспензію висушувати для отримання тонкодисперсного порошкового продукту, придатного для додавання в корми і харчові продукти. Також недоліками є велика металоємність конструкції і високі витрати енергії.

Для сушіння пастоподібної маси після мокрого розмелювання застосовують високоефективні вихрові сушарки типу «Флеш» (рис. 15), в яких паста диспергується ножами, що швидко обертаються, і висушується в вихровому потоці теплоносія [10].

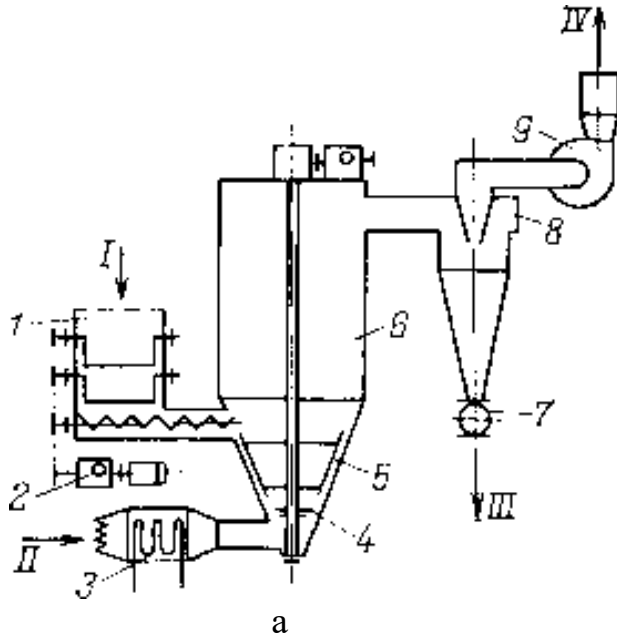


Рисунок 15 – Сушарка типу «Флеш»: а) схема; б) загальний вид  
1 - завантажувальний бункер; 2 - електропривід; 3 - калорифер; 4 - розподільний диск; 5 - ножевий пристрій; 6 - сушарка; 7 - шлюзовий затвор; 8 - циклон; 9 - вентилятор; I - матеріал; II - повітря; III - продукт; IV - відпрацьований теплоносії

Висушений в таких сушарках цеоліт має високу якість і використовується в медицині, харчовому і кормовому виробництві.

#### 1.4. Загальні підходи до моделювання процесу сушіння

##### 1.4.1. Теоретичне моделювання тепломасообміну в дисперсних тілах

Характер протікання процесу сушіння визначається механізмом переміщення вологи всередині матеріалу, енергетикою випаровування та механізмом переміщення вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище через так званий граничний шар, що розташований близько поверхні матеріалу [11]. Тобто

кінетика зовнішнього тепломасообміну в процесі сушіння визначається зміною концентрації парів води нормально до граничного шару і зміною температури сушильного агента поблизу поверхні вологого матеріалу [12].

В теорії сушіння використовується метод аналізу зовнішнього тепломасообміну, що ґрунтується на сумісному розгляді рівнянь руху і нерозривності в'язкого нестисливого потоку:

$$\frac{\partial \vec{w}}{\partial \tau} + (\vec{w}, \text{grad}) \vec{w} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \text{grad } P + \nu \nabla^2 \vec{w} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div } \rho \vec{w} = 0 \quad (2)$$

конвективно-дифузійного переносу парів води в рухомому сушильному агенті

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + (\vec{w}, \text{grad } C) = D \nabla^2 C \quad (3)$$

і рівняння, що описують поле температури в потоці теплоносія

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + (\vec{w}, \text{grad } t) = a \nabla^2 t \quad (4)$$

де  $w, P, C, t$  – шукані функції швидкості, загального статичного тиску, концентрації води і температури в потоці сушильного агента;

$\rho, \nu, a, D$  – густина, кінематичний коефіцієнт в'язкості, коефіцієнт температуропровідності і коефіцієнт дифузії парів води в сушильному агенті;

$\tau$  – час;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\nabla^2$  – оператор Лапласа [12].

Нестаціонарні поля вологовмісту і температури всередині капілярно-пористого тіла визначаються системою диференціальних рівнянь збереження води і теплоти, які при постійних значеннях коефіцієнтів переносу виглядають як:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m (\nabla^2 u + \delta \nabla^2 \theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta + \varepsilon \frac{r_c}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau} \end{cases} \quad (5)$$

де  $a_m = \frac{\lambda_m}{\rho_T c_m}$  – коефіцієнт потенціалопровідності;

$\lambda_m$  – коефіцієнт вологопровідності матеріалу;

$\rho_T$  – густина сухого матеріалу;

$c_m$  – масоємкість матеріалу;

$\delta = c_m \left( \frac{\partial \theta^*}{\partial \theta} \right) \Big|_u$  – термоградієнтний коефіцієнт переносу вологи;

$\theta^*$  – потенціал переносу вологи;

$\theta$  – температура;

$\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення ( $\varepsilon = 1$  при переході рідини в пару,  $\varepsilon = 0$  коли фазового переходу немає);

$r_c$  – питома теплота випаровування;

$c$  – теплоємність [12].

#### 1.4.2. Експериментальні залежності кінетики сушіння

Як відомо, цеоліт є капілярно-пористим тілом, тому процес сушіння можна поділити на три періоди сушіння таким чином. На рисунку 1. зображена залежності вологовмісту та температури від часу сушіння [11].

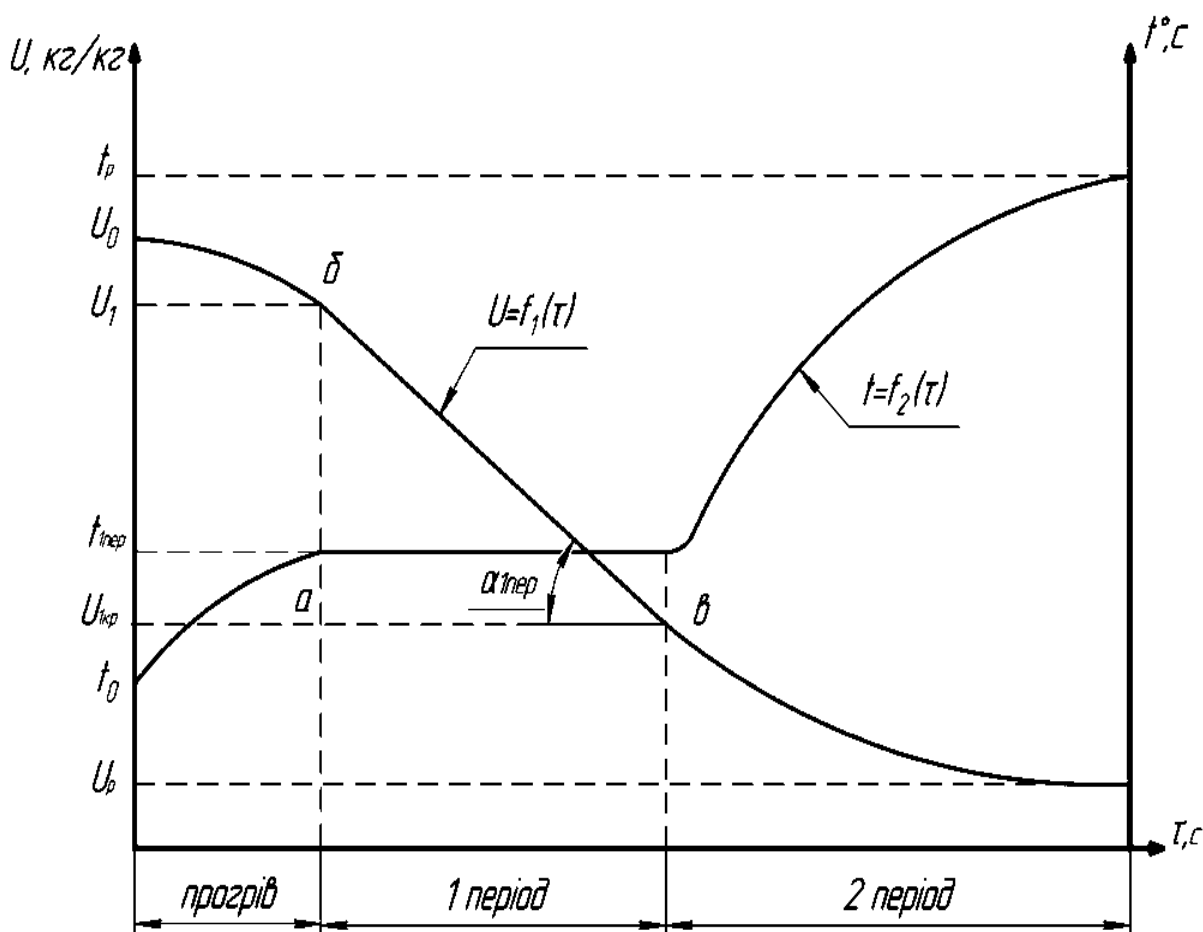


Рисунок 16 – Залежності вологовмісту та температури від часу сушіння

Одним із способів визначення швидкості сушіння є графічний: використавши графічну залежність швидкості від вологовмісту за періодами сушіння (рисунок 1.11) [11].

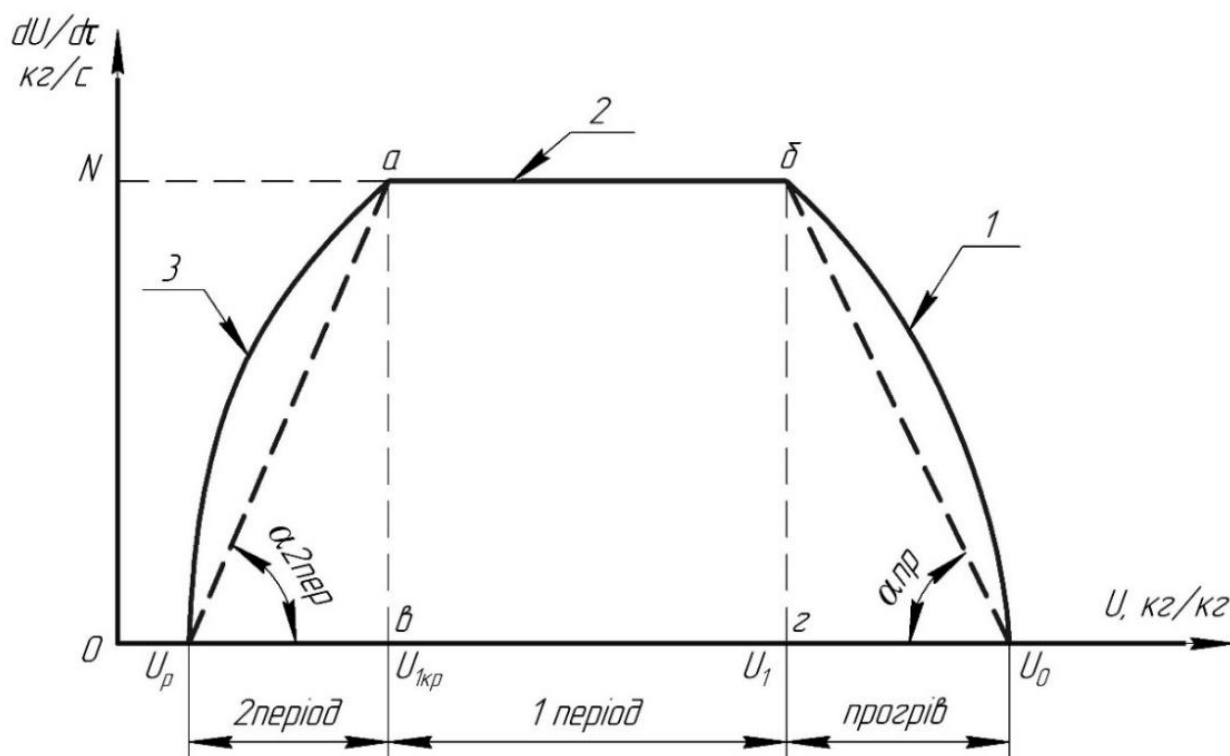


Рисунок 17 – Залежність швидкості сушіння паперу від вологовмісту  
1 — швидкість сушіння в період прогріву; 2 — швидкість сушіння в першому періоді; 3 – швидкість сушіння в другому періоді

Знаючи кінетичні закономірності конвективного сушіння цеоліту, можна описати процес сушіння цеоліту.

З рисунку 1.11 рівняння прямої  $\delta U_0$  є рівнянням швидкості сушіння в період прогріву. Спрощено воно має такий вигляд [13]:

$$\frac{dU}{d\tau} = -k_{\text{пр}}u + b_{\text{пр}} \quad (6)$$

де  $k_{\text{пр}}$  – тангенс кута нахилу відрізка  $\delta U_0$  (згідно рис. 17);

$b_{\text{пр}}$  – початкове значення по осі ординат ( $dU/d\tau$ ), що відсікає відрізок  $\delta U_0$ .

Враховуючи, що:

$$k_{\text{пр}} = \tan \alpha_{\text{пр}} = \frac{N}{u_0 - u_1} \quad (7)$$

А  $b_{\text{пр}}$ :

$$b_{\text{пр}} = u_0 \cdot \tan \alpha_{\text{пр}} = u_0 k_{\text{пр}} \quad (8)$$

Перепишемо рівняння швидкості сушіння (1.6) в періоді прогріву:

$$\frac{du}{d\tau} = -k_{\text{пр}}u - k_{\text{пр}}u_0 = -k_{\text{пр}}(u - u_0) \quad (9)$$

Проінтегрувавши за вологовмістом та часом рівняння (1.9), перепишемо у вигляді:

$$\ln \frac{u - u_0}{u_1 - u_0} = -k_{\text{пр}}\tau \quad (10)$$

Для першого періоду сушіння швидкість сушіння стала. З трикутника  $\Delta a\delta v$  (рис. 16):

$$N = \tan \alpha_{\text{п1пер}} = \frac{u_1 - u_{1\text{кр}}}{\tau_{1\text{кр}} - \tau_1} \quad (11)$$

З рисунку 17 рівняння прямої  $u_p a$  характеризує швидкість сушіння в другому періоді сушіння. Спрощено воно має такий вигляд [13]:

$$\frac{du}{d\tau} = k_{2\text{пер}}u - b_{2\text{пер}} \quad (12)$$

де  $k_{2\text{пер}}$  – тангенс кута нахилу відрізка  $aU_p$  (згідно рисунка 1.11);

$b_{2\text{пер}}$  – значення по осі ординат ( $dU/d\tau$ ), що відсікає відрізок  $aU_p$ .

Враховуючи, що:

$$k_{2\text{пер}} = \tan \alpha_{2\text{пер}} = \frac{N}{u_{1\text{кр}} - u_p} \quad (13)$$

А  $b_{2\text{пер}}$ :

$$b_{2\text{пер}} = u_p \cdot \tan \alpha_{2\text{пер}} = u_p k_{2\text{пер}} \quad (14)$$

Перепишемо рівняння швидкості сушіння в другому періоді сушіння:

$$-\frac{du}{d\tau} = k_{2\text{пер}}u - k_{2\text{пер}}u_p = k_{\text{пр}}(u - u_p) \quad (15)$$

Знак мінус вказує, що швидкість зменшується.

Проінтегрувавши за вологовмістом та часом, рівняння (1.15), перепишемо у вигляді:

$$-\ln \frac{u - u_p}{u_{1\text{кр}} - u_p} = k_{2\text{пер}}\tau \quad (16)$$

Час сушіння періоду нагрівання, першого та другого періодів становить:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\ln \frac{u-u_0}{u_1-u_0}}{-k_{\text{пр}}} \quad (17)$$

$$\tau_1 = \frac{u_1-u_{1\text{кр}}}{\tau_1-\tau_{1\text{кр}}} \quad (18)$$

$$\tau_2 = \frac{-\ln \frac{u-u_p}{u_{1\text{кр}}-u_p}}{k_{2\text{пер}}} \quad (19)$$

Таким чином загальний час сушіння складатиме:

$$\tau_{\text{суш}} = \tau_{\text{пр}} + \tau_1 + \tau_2 = \frac{-\ln \frac{u-u_0}{u_1-u_0}}{k_{\text{пр}}} + \frac{u_1-u_{1\text{кр}}}{\tau_1-\tau_{1\text{кр}}} + \frac{-\ln \frac{u-u_p}{u_{1\text{кр}}-u_p}}{k_{2\text{пер}}} \quad (20)$$

Недоліком такої методики для визначення швидкості сушіння картону є необхідність мати графічні залежності швидкості від вологовмісту. На залежності впливає багато факторів: густина теплового потоку, діаметр частинок тощо. Також результати розрахунку швидкості сушіння залежать від точності апроксимації експериментальних даних.

### 1.5. Висновки мета та задачі дослідження

Проведено критичний аналіз джерел, на основі якого можна стверджувати, що рівень розвитку ринку природних цеолітів за кордоном значно вищий ніж вітчизняний, де широко застосовують цеоліти у різних галузях, але робіт з дослідження кінетики сушіння цеоліту, не виявлено.

Метою дослідження є визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту, та його основних параметрів, необхідних для проектування відповідного обладнання.

Для досягнення поставленої мети ставляться наступні задачі дослідження:

1. На основі аналізу літературних джерел і патентних матеріалів запропонувати фізичну модель процесу сушіння цеоліту.
2. На базі фізичної моделі розробити математичну модель.
3. Розв'язати математичну модель процесу сушіння цеоліту.
4. Розробити лабораторну установку для дослідження кінетики процесу сушіння цеоліту.



5. Розробити методику експериментальних досліджень процесу сушіння цеоліту.
6. Розробити вимоги до охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.
7. Виконати експериментальні дослідження кінетики процесу сушіння цеоліту.
8. Порівняти результати, отримані теоретичним і експериментальним шляхом, з метою підтвердження адекватності математичної моделі.
9. Розробити алгоритм розрахунку промислової сушарки.
10. Розробити стартап-проект.

## 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ

### 2.1. Фізична модель процесу сушіння цеоліту

Рушійною силою процесу сушіння в першому періоді є різниця між тиском насиченої водяної пари в пограничному шарі на поверхні цеоліту та парціальним тиском пари в навколишньому середовищі, а в другому періоді сушіння – різниця між величинами поточного та кінцевого рівноважного вологовмісту [11].

Під час сушіння випаровування вологи може відбуватися не тільки з поверхні цеоліту, а й з більш глибоких шарів (рис. 18).

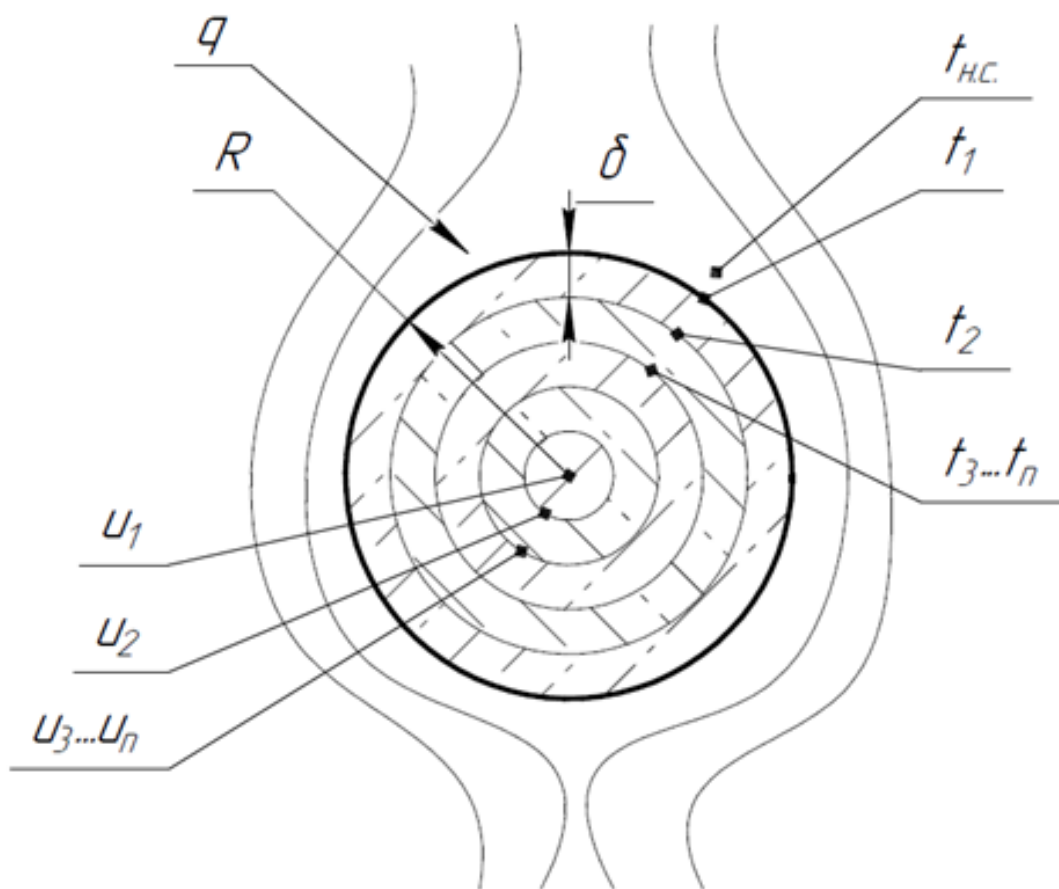


Рисунок 18 – Фізична модель процесу сушіння цеоліту

Частинку цеоліту прийнято вважати сферичною радіусом  $R$  з урахуванням коефіцієнту форми, оскільки кристали цеоліту мають форму тетраедра. Частинка знаходиться під дією теплового навантаження від сушильного агенту (повітря) тепловим потоком  $q$ . При цьому частинку умовно поділено на нескінченно малі

шари починаючи від зовнішньої поверхні до центру. Це дозволяє скористатись сферичними координатами в представленні задачі. Таким чином вологовміст  $u$  і час сушіння зростатиме від зовнішньої поверхні до центру, а температура  $t$  навпаки спадатиме. Тому є доцільним дослідження процесу на зовнішній поверхні частинки – поверхні контакту фаз.

У цеоліті, як капілярно-пористому тілі, знаходиться вільна волога, волога в капілярах та адсорбційно зв'язана волога. У першому періоді сушіння випаровується вільна волога, а швидкість процесу обмежена інтенсивністю теплового потоку. У другому періоді сушіння швидкість спочатку обмежена дифузією вологи в зону випаровування (видалення вологи в капілярах), а під кінець сушіння лімітується руйнуванням адсорбційних зв'язків вологи з цеолітом та її випаровуванням.

До початку сушіння вологовміст та температура однакові по всьому радіусу цеоліту. Під час сушіння в поверхневих шарах, де найвища кількість поглинутої теплоти від нагрітого теплоносія, значення температури найбільше, а вологовміст найменший. Оскільки під час сушіння цеоліту тепловий потік зменшується по товщині частинки, то температура, відповідно, спадає, а вологовміст збільшується із рухом до центру частинки. В кінці сушіння вологовміст досягає рівноважного значення та вирівнюється [14].

Для того, щоб представити частинки у вигляді сферичних, потрібно враховувати характеристики дисперсних матеріалів. При розрахунку сушарок в режимі пневмотранспорту та зваженого стану дисперсного матеріалу, необхідно знати відносну швидкість висушуваного матеріалу та сушильного агенту. Визначальний вплив на цей параметр здійснюють такі характеристики дисперсних матеріалів, як розмір і форма частинок, розподілення їх за гранулометричним складом, густина та структура.

Оскільки форма кристалів цеоліту – тетраедр, то щоб перейти до сферичної форми, потрібно враховувати характеристики дисперсних матеріалів. При розрахунку сушарок в режимі пневмотранспорту та зваженого стану дисперсного ма-

теріалу, необхідно знати відносну швидкість висушуваного матеріалу та сушильного агента. Визначальний вплив на цей параметр здійснюють такі характеристики дисперсних матеріалів, як розмір і форма частинок, розподілення їх за granulometric composition, густина та структура.

Дисперсність – це термодинамічна величина, яка характеризує поверхню поділу фаз (в процесах сушіння – це питома поверхня матеріалу) [15]:

$$f_d = \frac{F}{V_M}. \quad (21)$$

Величина, обернена до  $f_d$ , називається приведеним розміром тіла:

$$R_V = \frac{V_M}{F} = \frac{1}{f_d} \quad (22)$$

Об'єм і поверхня тіла дорівнюють:

$$V_M = k_1 \cdot l^3; \quad F = k_2 \cdot l^2, \quad (23)$$

де  $l$  – визначальний геометричний розмір, м;

$k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти пропорційності, що залежать від геометричної форми тіла.

Тоді ці співвідношення переписуються у функції коефіцієнта форми тіла:

$$f_d = \frac{k_2 \cdot l^2}{k_1 \cdot l^3} = \frac{\Phi}{l}; \quad (24)$$

$$R_V = \frac{l}{\Phi}, \quad (25)$$

де  $\Phi = \frac{k_2}{k_1}$  – коефіцієнт форми тіла.

Для ізометричної і канонічної форм коефіцієнт форми легко розрахувати за цими співвідношеннями. Наприклад, приймаючи для кулі діаметром  $d$  і куба зі стороною відповідно  $l = d$  і  $l = a$ , отримуємо  $\Phi = 6$ . Для циліндрів і дисків діаметром  $d$  і висотою  $h$ :

$$f_d = \frac{2}{h} + \frac{4}{d}. \quad (26)$$

Якщо прийняти за визначальний розмір діаметра ( $l = d$ ), то:

$$\Phi = f_d h = \frac{2d}{h} + 4. \quad (27)$$

В цьому випадку при  $d \ll h$  отримаємо  $\Phi \approx 4$ .

Якщо за визначальний розмір прийняти висоту ( $l = h$ ), то:

$$\Phi = f_d h = 2 + \frac{4h}{d}. \quad (28)$$

В цьому випадку при  $d \gg h$  отримаємо  $\Phi \approx 2$ .

Попередня формула є зручною для довгих циліндрів (волокнистий матеріал), а остання – для коротких (диски, пластинчатий або лускатий матеріал)

Нижче наведено розрахункові значення коефіцієнту форми для деяких ізометричних тіл (за визначальний розмір прийнято довжину ребра): тетраедр – 14,7; додекаедр – 2,7; октаедр – 7,37; ікосаедр – 3,97.

Частіше за все на практиці доводиться мати справу з дисперсними матеріалами, форма частинок яких значно відрізняється від ізометричної. В даній роботі при гідродинамічних, тепло- і масообмінних розрахунках розмір частинок неправильної форми умовно замінюється діаметром сфери, еквівалентній частинці за об'ємом. Тоді еквівалентний діаметр частинки виражається через її об'єм:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6V_M}{\pi}}. \quad (29)$$

Неправильність форми частинки враховують через так званий фактор форми, який характеризує відхилення реальної форми тіла від сферичної. Фактор форми, що виражають як співвідношення поверхні сфери  $F_{сф}$ , яка еквівалентна за об'ємом частинці, до поверхні частинки  $F_M$ , називається коефіцієнтом сферичності:

$$\psi = \frac{F_{сф}}{F_M} = \frac{\pi d_e^2}{F_M} \quad (30)$$

Підставивши  $d_e$  з попередньої формули, отримаємо

$$\psi = 4,83 \frac{V_M^{\frac{2}{3}}}{F_M} \quad (31)$$

Часто фактор форми виражають співвідношенням поверхні частинки до поверхні сфери, еквівалентній за об'ємом частинці, що називається коефіцієнтом несферичності:

$$s = \frac{F_M}{F_{сф}} = 0,207 \frac{F_M}{V_M^{\frac{2}{3}}} \quad (32)$$

Тобто  $s$  обернено пропорційне до  $\psi$ .

При гідродинамічних розрахунках не має принципового значення, яким чином виражений фактор форми. Варто тільки пам'ятати, що завжди  $\psi < 1$ , а  $s > 1$ , при чому для кулі  $\psi = s = 1$ .

Зі співвідношень, згаданих раніше, знаходили питому поверхню частинок неправильної форми:

$$f_d = \frac{6}{\psi d_e} - \frac{6s}{d_e} \quad (33)$$

З попередніх співвідношень отримаємо зв'язок для ізометричних і канонічних тіл – між коефіцієнтом сферичності (несферичності) і коефіцієнтом форми

$$\psi = \frac{6l}{\Phi d_e} \quad \text{або} \quad s = \frac{\Phi d_e}{6l} \quad (34)$$

За допомогою цього співвідношення розраховано фактор форми [15].

## 2.2. Математична модель процесу сушіння цеоліту

На основі фізичної моделі можна скласти математичну модель. Технологічний режим, обладнання для конвективного сушіння та спрощення конфігурації частинок цеоліту дають можливість розглядати цей процес як одновимірний в радіальному напрямку сферичного тіла. Крім цього, зроблено припущення, величина теплового потоку (температура теплоносія) залишатиметься постійною протягом всього часу сушіння

Математична модель процесу для сферичних частинок включає рівняння теплопровідності та кінетики сушіння [12]:

$$\begin{cases} c\rho_{\text{ц}} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot k_{\text{ф}} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \cdot \frac{\partial T}{\partial R} \right) - \rho_{\text{ц}} r \frac{\partial u}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} = \beta F(p_{\text{н}} - p_{\text{п}}) + k(u - u_p) \end{cases}, \quad (35)$$

де  $c$  – приведена питома теплоємність вологого цеоліту,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;

$\rho_{\text{ц}}$  – густина абсолютно сухого цеоліту,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\frac{\partial T}{\partial \tau}$  – швидкість зміни температури,  $\frac{\text{К}}{\text{с}}$ ;

$k_{\text{ф}}$  – коефіцієнт форми;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності цеоліту  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

$\frac{\partial T}{\partial R}$  – градієнт температур,  $\frac{K}{m}$ ;

$\frac{\partial^2 T}{\partial R^2}$  – швидкість зміни градієнту температур  $\frac{K}{m^2}$ ;

$r$  – питома теплота пароутворення,  $\frac{kJ}{kg}$ ;

$\frac{\partial u}{\partial \tau}$  – швидкість сушіння цеоліту,  $s^{-1}$ ;

$\beta$  – коефіцієнт вологовіддачі,  $\frac{1}{m^2 \cdot Pa \cdot s}$ ;

$F$  – поверхня контакту фаз,  $m^2$ ;

$p_n$  – тиск насичення на поверхні частинок цеоліту,  $Pa$ ;

$p_n$  – парціальний тиск пари в теплоносії,  $Pa$ ;

$k$  – константа швидкості сушіння в другому періоді,  $s^{-1}$ ,

$u$  – вологовміст цеоліту,  $kg/kg$ ;

$u_p$  – рівноважний вологовміст,  $kg/kg$ .

Граничні умови процесу (першого роду):

$$-\alpha(T_{n.c.} - T_1) = \frac{\lambda_1}{\delta}(T_1 - T_2), \quad (36)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $\frac{Вт}{m^2 \cdot K}$ ;

$T_{n.c.}$  – температура теплоносія,  $K$ ;

$T_1$  – температура зовнішньої поверхні цеоліту,  $K$ ;

$\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності першого шару цеоліту,  $\frac{Вт}{m \cdot K}$ ;

$\delta$  – товщина одного шару,  $m$ ;

$T_2$  – температура цеоліту на відстані  $\delta$  від зовнішньої поверхні частинки цеоліту.

Початкові умови:

$$T = T_0; u = u_0; \tau = 0. \quad (37)$$

Співвідношення парціального тиску пари до тиску насичення дорівнює відносній вологості:

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n}. \quad (38)$$

Тоді парціальний тиск пари можна визначити завдяки співвідношенню:

$$p_{\Pi} = \varphi \cdot p_{\text{H}}. \quad (39)$$

При цьому, як використання системи рівнянь (15), так і представленої математичної моделі (35) для розрахунку промислових апаратів не може бути використано, якщо коефіцієнти переносу представлені у вигляді констант. Таким чином, щоб зробити коректним використання математичної моделі слід врахувати фактори, які впливають як на початкові дані, так і на коефіцієнти переносу.

Питома теплоємність волого матеріалу залежить як від температури (рис. 19), так і від вологовмісту, який змінюється з часом.

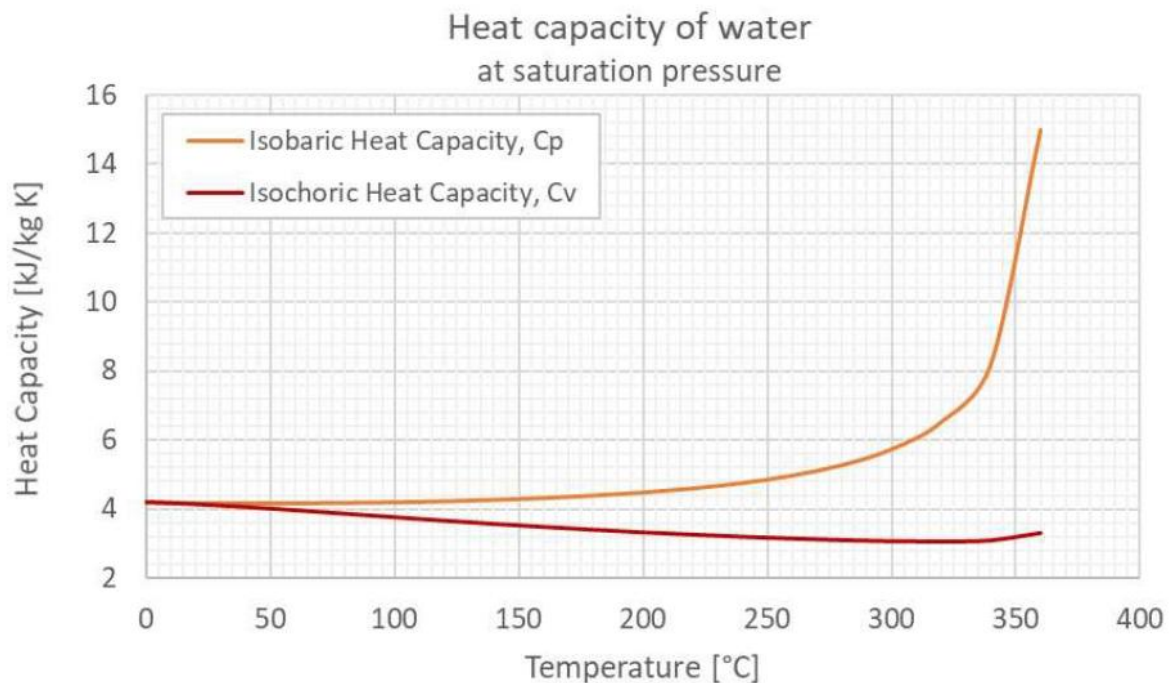


Рисунок 19 – Залежність питомої теплоємності води від температури [16]

З використанням залежності питомої теплоємності води від температури, оскільки питома теплоємність цеоліту змінюється значно менше ніж у води [17], її можна прийняти постійною, можна розрахувати питому теплоємність вологого матеріалу в залежності від вологовмісту, який змінюється за часом, за формулою:

$$c(u(\tau)) = c_w(T) \frac{u(\tau)}{1+u(\tau)} + c_z \frac{1}{1+u(\tau)}, \quad (40)$$

де  $c_w(T)$  – питома теплоємність води в залежності від температури  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;

$u(\tau)$  – вологовміст цеоліту в залежності від часу  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;



$c_z$  – питома теплоємність цеоліту  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ .

Коефіцієнт теплопровідності вологого цеоліту також залежить як від температури (рис. 20), так і від вологовмісту, що змінюється за часом.

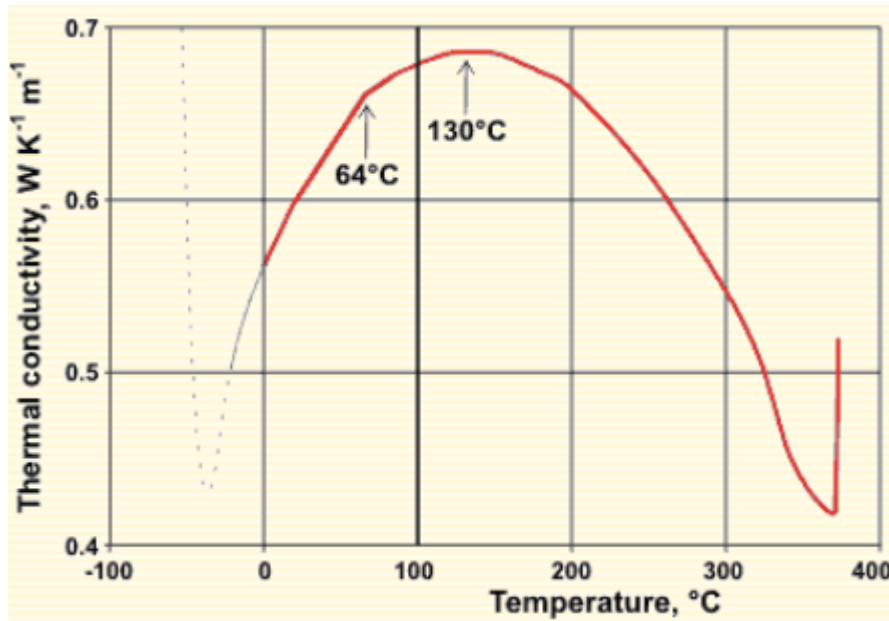


Рисунок 20 – Залежність коефіцієнту теплопровідності води від температури [18]

Аналогічно до питомої теплоємності, коефіцієнт теплопровідності вологого цеоліту можна розрахувати за формулою:

$$\lambda(u(\tau)) = \lambda_w(T) \frac{u(\tau)}{1+u(\tau)} + \lambda_z \frac{1}{1+u(\tau)}, \quad (41)$$

де  $\lambda_w(T)$  – коефіцієнт теплопровідності води в залежності від температури  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;

$\lambda_z$  – коефіцієнт теплопровідності цеоліту  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ .

Також слід враховувати рівноважний вологовміст при сушінні (десорбції) в залежності від відносної вологості (рис. 21). За допомогою цієї залежності можна визначити рівноважний вологовміст в залежності від відносної вологості сушильного агента.

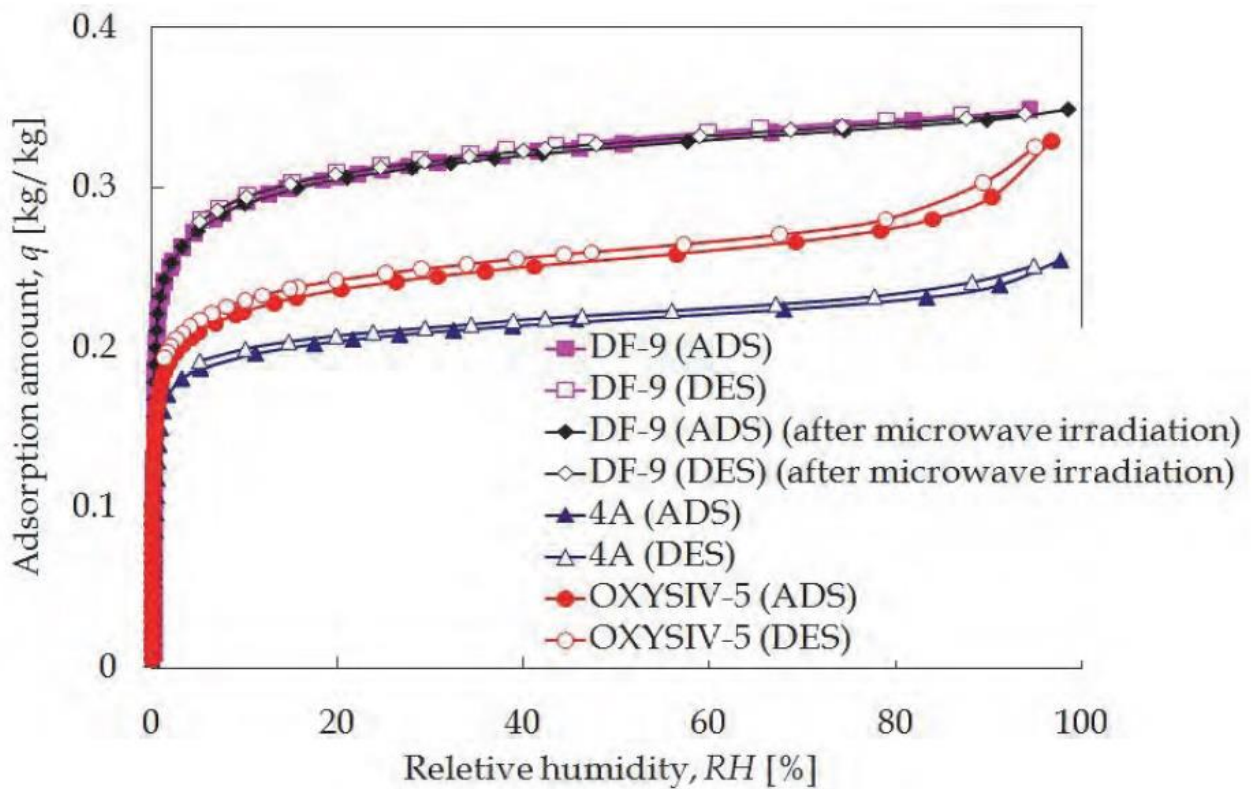


Рисунок 21 – Залежність рівноважного вологовмісту від відносної вологості [19]

### 2.3.Результати математичного моделювання та аналіз

Для розв'язання математичної моделі було використано метод сіток для знаходження функції температури від часу і радіусу (2 змінні), та метод скінченних різниць для знаходження функції вологовмісту за часом від початкового вологовмісту  $u_0$  до рівноважного  $u_p$ . Ці методи було реалізовано в MathCAD, з використанням елементів функціонального програмування для залежностей питомої теплоємності, коефіцієнту теплопровідності та інших величин, що залежать від температури цеоліту або теплоносія, та від вологовмісту.

За отриманими даними побудовано графічні залежності вологовмісту цеоліту фракції до 1 мм від часу сушіння (рис. 22), а також температури зовнішньої поверхні частинок цеоліту (рис. 23).

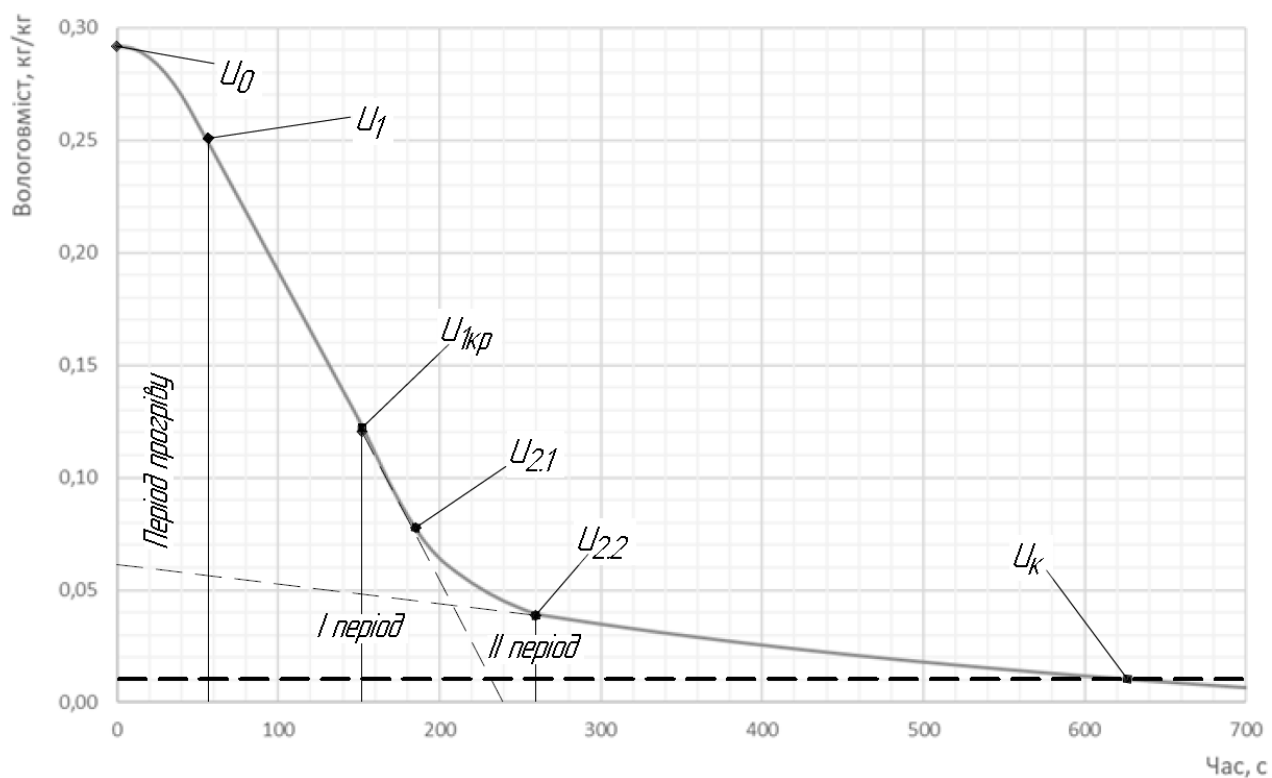


Рисунок 22 – Теоретична залежність вологовмісту від часу сушіння [20]

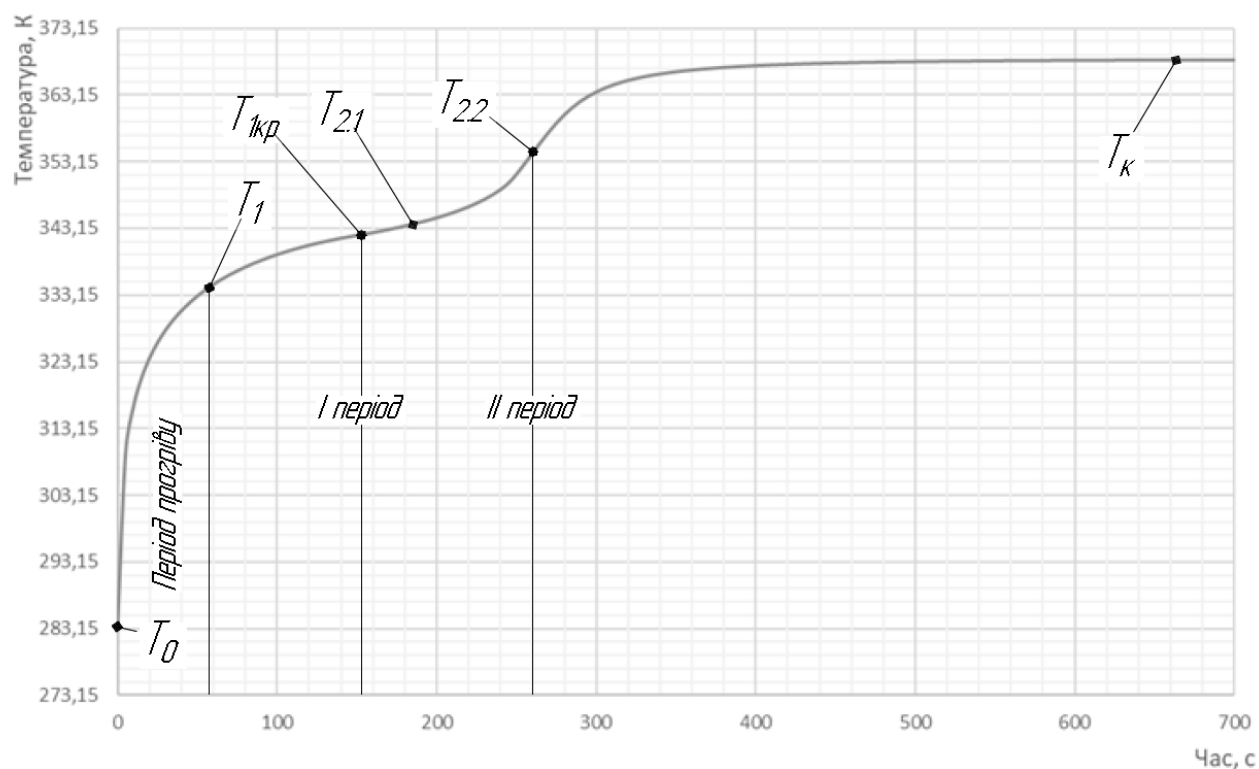


Рисунок 23 – Залежність температури зовнішньої поверхні цеоліту від часу

Аналіз кривих на рисунках 22 та 23 показує, що розподілення періодів сушіння співпадає за часом.

Для того, щоб коректно виконати розв'язок математичної моделі, криву сушіння необхідно розділити, як кусково-задану функцію. При цьому, слід зауважити, що функції мають бути кусково-гладкими (диференційовними) та монотонними (приріст не змінює знаку). Для цього необхідно визначити характерні точки, в яких функція буде переходити з одного відрізка на інший. Таким чином можна буде програмно реалізувати умови переходу. Залежність вологовмісту (рис. 22) має характерні точки, які було визначено експериментально:

- $u_0$  – початкова точка прогріву;
- $u_1$  – початок 1-го періоду сушіння;
- $u_{1кр}$  – точка початку сповільнення швидкості сушіння (точка перегину);
- $u_{2.1}$  – умовно початок 2-го періоду сушіння;
- $u_{2.2}$  – точка закінчення сповільнення швидкості сушіння (точка перегину);
- $u_k$  – точка кінцевого вологовмісту ( $w = 1\%$ ,  $u_k = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ).

Цим точкам на рисунку відповідають аналогічні точки на температурній кривій (рис. 23).

На відрізку  $u_0 u_1$  функція змінюється як від'ємна парабола з вершиною в точці  $u_0$ , та дотична в точці  $u_1$  до прямої.

На відрізку  $u_1 u_{1кр}$  функція від'ємно лінійна та проходить через точки  $u_1$  та  $u_{1кр}$ , завдяки чому можна визначити коефіцієнт  $\beta$  як тангенс кута нахилу прямої:

$$\beta = \frac{tg\alpha}{F(p_s - p_n)}; \quad (42)$$

$$tg\alpha = \frac{u_1 - u_{1кр}}{\tau_{1кр} - \tau_1}, \quad (43)$$

На цьому відрізку видаляється вільна волога з поверхні цеоліту, а швидкість процесу обмежена інтенсивністю теплового потоку [20].

На відрізку  $u_{1кр} u_{2.2}$  функція додатньо параболічна, що проходить через точки  $u_{1кр}$  і  $u_{2.2}$  та має дотичні прямі з першого та другого періодів сушіння в цих

точках відповідно. Цю зону можна назвати перехідною зоною з 1-го в 2-гий період сушіння. Точка  $u_{2,1}$  знаходиться умовно на цьому проміжку.

Останній відрізок від точки  $u_{2,2}$  до кінцевої  $u_k$  наближено представлений від'ємно лінійною функцією, коефіцієнт  $k$  якої знаходиться аналогічно 1-му періоду сушіння. На цьому відрізку видаляється адсорбційно зв'язана волога, та після точки  $u_k$  починає видалятися кристалогідратна волога.

На температурній кривій відрізок  $T_0 T_{1кр}$  характеризується швидким ростом температури. На відрізку  $T_{1кр} T_{1-2}$  швидкість росту температури відносно меншає, та на відрізку  $T_{1-2} T_{2-1}$  ступінчато зростає, а на відрізку від точки  $T_{2-1}$  до  $T_k$  поступово зупиняє ріст [20].

Розв'язок математичної моделі знайдено для фракцій 1 мм та 3 мм (на замовлення компанії «Цеоліт-Біо») та побудовано кінетичні закономірності (рис.

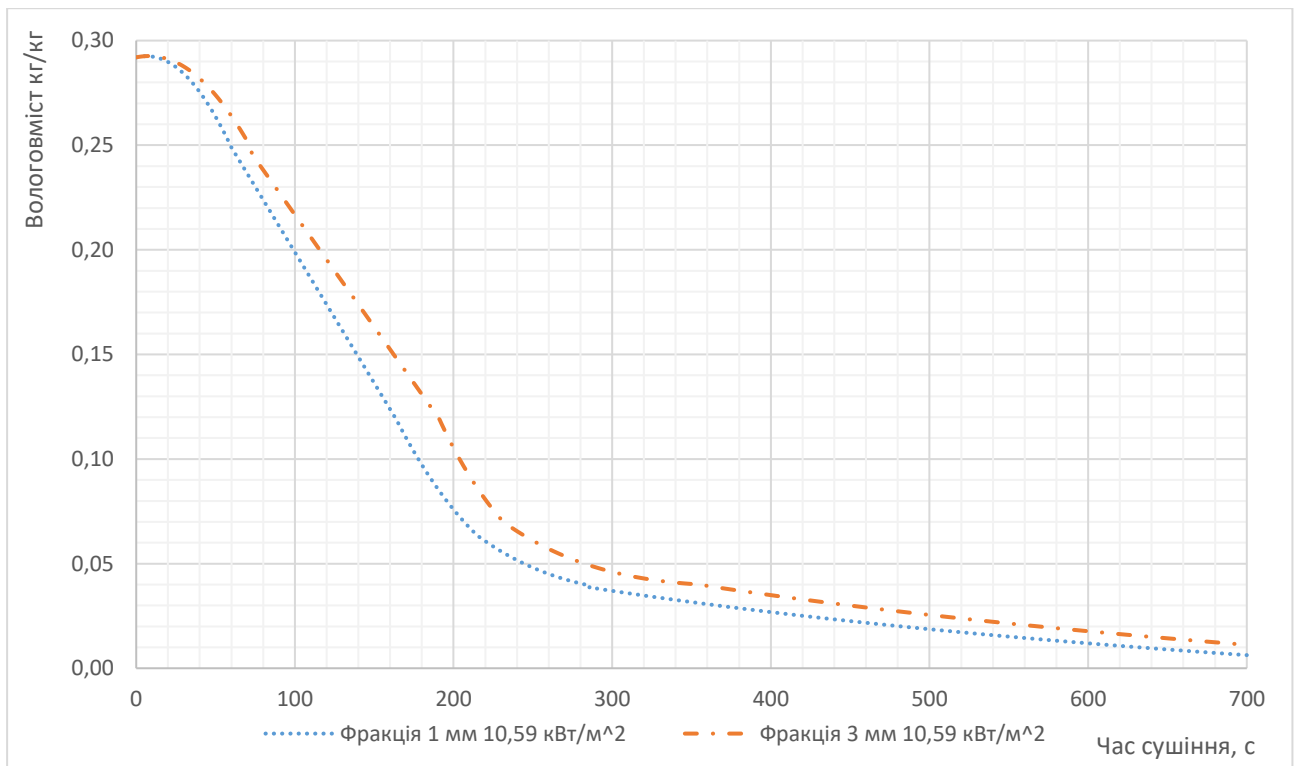


Рисунок 24 – Теоретична залежність вологовмісту цеоліту від часу сушіння для фракцій 1 мм та 3 мм за теплового потоку  $10,59 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$

Як видно на рисунку 24 при збільшенні розміру частинок час сушіння збільшується, в першому періоді нахил прямої стає більш пологим, а у другому періоді сушіння відбувається з тією ж швидкістю для обох фракцій.

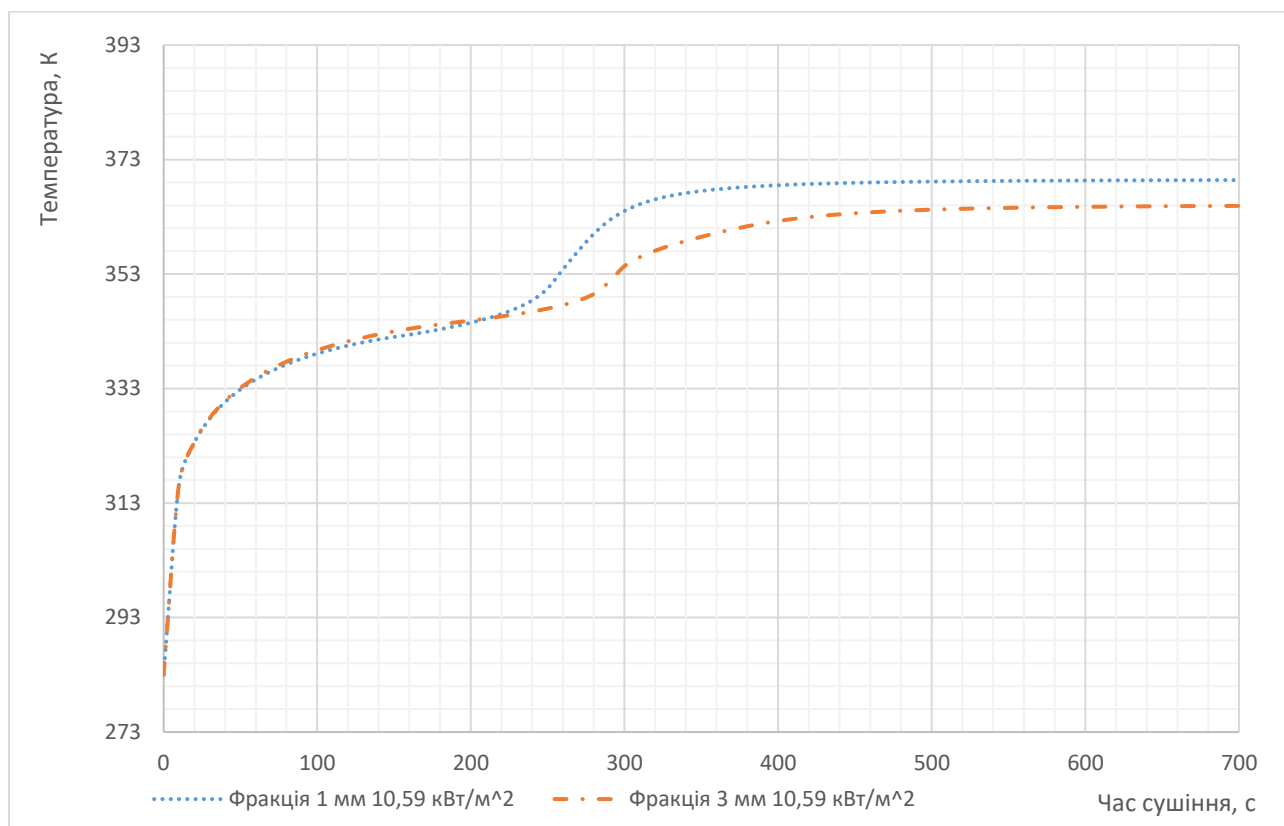


Рисунок 25 – Теоретична залежність температури зовнішньої поверхні цеоліту від часу сушіння за теплового потоку  $10,59 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$

На температурній кривій (рис. 25) видно, що в першому періоді температура практично не змінюється зі зміною розміру фракції, але в другому періоді зростає менше зі збільшенням розміру частинок. Це пов'язано з тим, що в першому періоді видаляється вільна волога і вся теплота іде на випаровування, а в другому періоді руйнуються сорбційні зв'язки.

Також виконано розв'язок для трьох теплових потоків фракції 1 мм ( $10,59 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ ;  $11,65 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ ;  $12,71 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ ) та побудовано залежності вологовмісту і температури зовнішньої поверхні цеоліту від часу сушіння (рис. 26, 27).

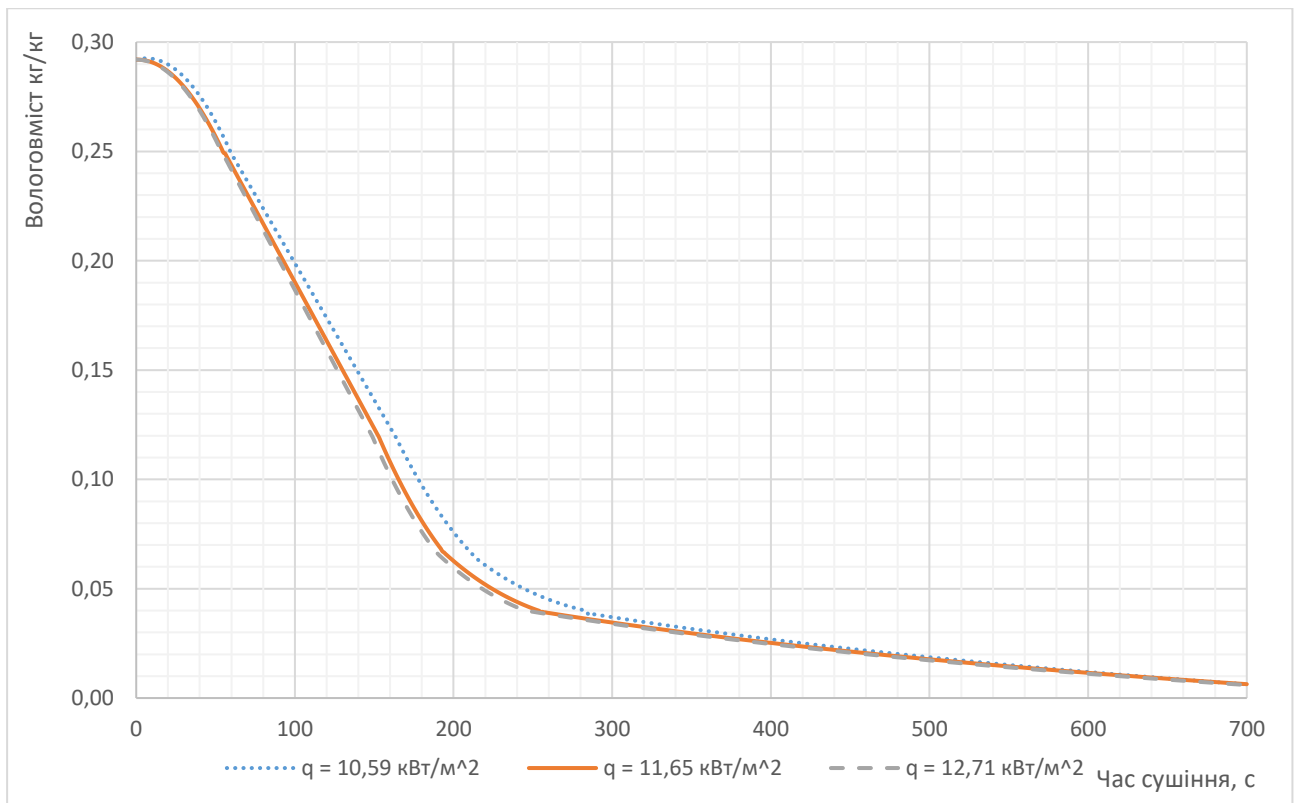


Рисунок 26 – Теоретична залежність вологовмісту цеоліту від часу сушіння при різних теплових потоках

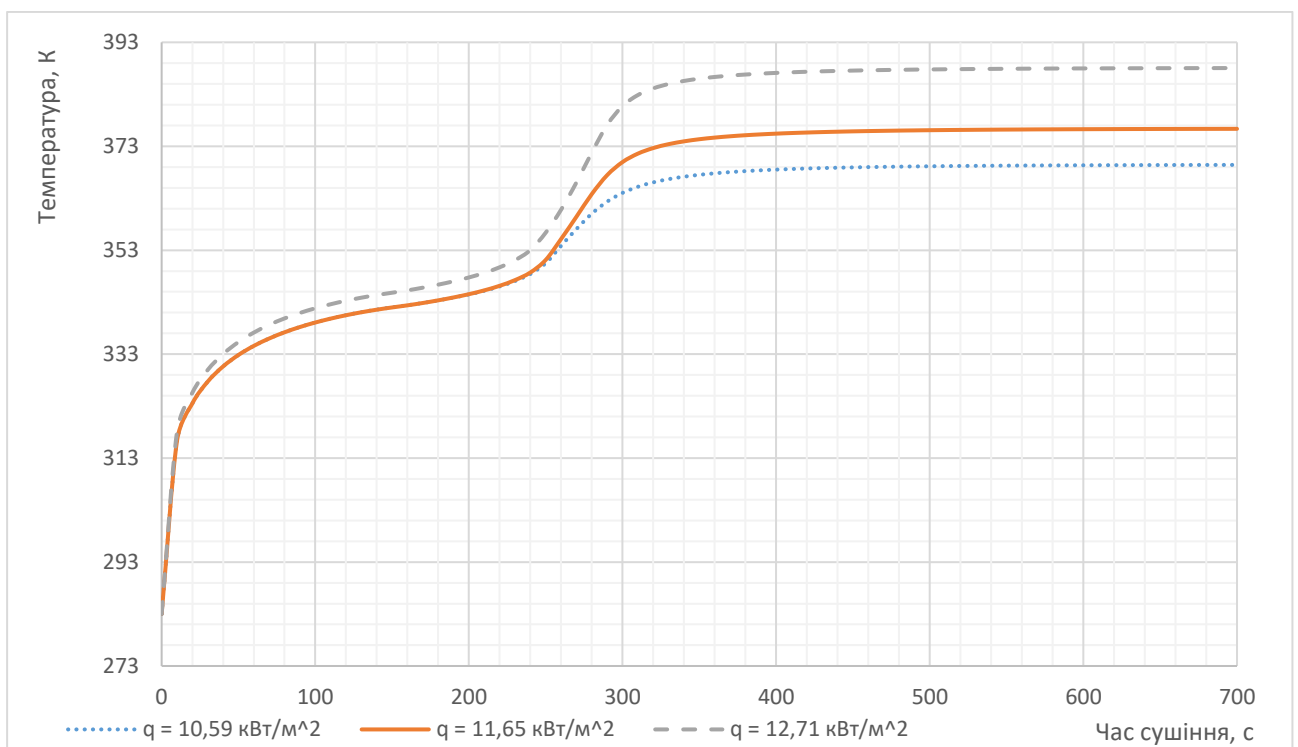


Рисунок 27 – Теоретична залежність температури зовнішньої поверхні цеоліту від часу сушіння при різних теплових потоках

Як видно на рисунку 26, зі збільшенням теплового потоку час сушіння в першому періоді зменшується, оскільки вся теплота іде на видалення вільної води, а в другому періоді тепловий потік майже не впливає на швидкість сушіння. При цьому температура в першому періоді мало змінюється зі збільшенням теплового потоку (рис. 27), а в другому періоді зростає, що свідчить про надлишок теплової енергії.

## **2.4.Висновки**

1. Сформульовано основні положення фізичної моделі процесу сушіння цеоліту.
2. Складено математичну модель процесу сушіння цеоліту.
3. Розроблено методику, алгоритм розрахунку та програма для розв'язання математичної моделі з використанням елементів функціонального програмування, наведені в Додатку А.
4. За результатами розв'язку математичної моделі встановлено графічні закономірності зміни вологовмісту від початкового вологовмісту  $u_0$  до рівноважного  $u_p$  та температури цеоліту в залежності від зміни розміру фракції та від зміни величини теплового потоку.



### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ

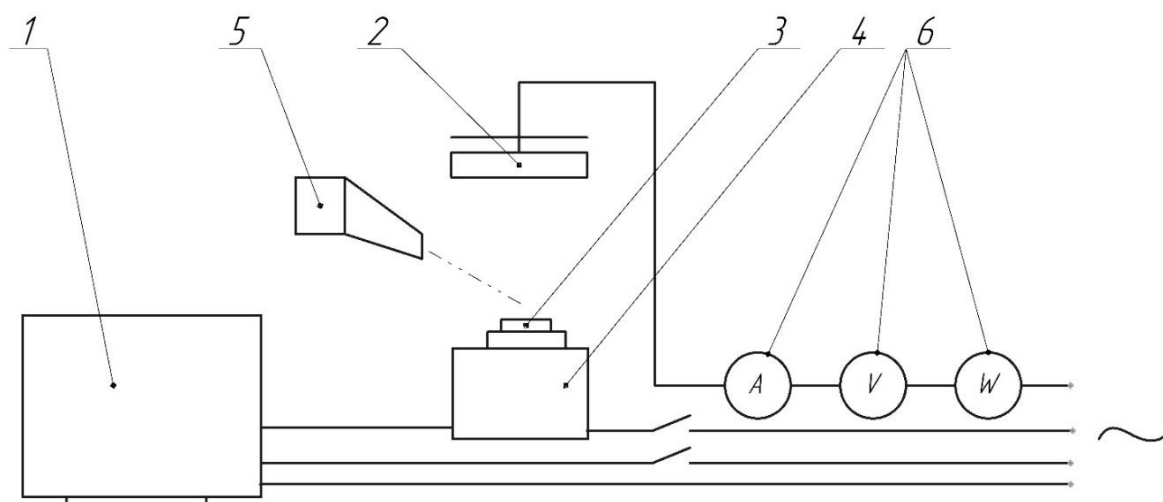
#### 3.1. Експериментальне дослідження кінетичних закономірностей конвективного сушіння цеоліту

Для визначення кінетичних закономірностей апарат псевдозрідженого шару не є придатним, оскільки неможливо відслідковувати масу зразків в реальному часі без впливу на процес псевдозрідження і сушіння відповідно. Тому, для визначення кінетичних закономірностей було використано комп'ютеризовану лабораторну установку, яка дозволяє з достатньою точністю отримати параметри для побудови кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту

#### 3.2. Опис експериментальної установки для визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту

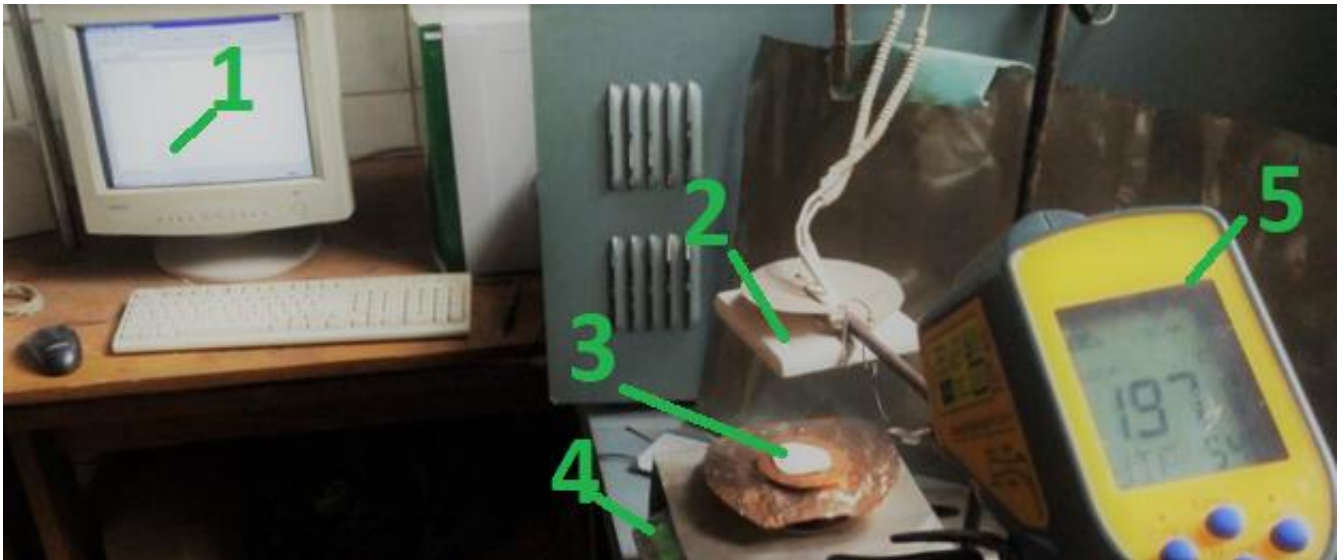
Для перевірки адекватності математичної моделі (35) була підготовлена лабораторна дослідна установка (рис. 28, 29).

Установка призначена для сушіння цеоліту з використанням інфрачервоного випромінювання.



1 – персональний комп'ютер; 2 –інфрачервоний випромінювач; 3 – картон; 4 – електронні ваги; 5 – пірметр; 6 – ватметр, амперметр, вольтметр.

Рисунок 28 – Лабораторна установка для сушіння картону ІЧ випромінюванням  
Фото дослідної установки зображено на рисунку 29.



1 – персональний комп'ютер; 2 –інфрачервоний випромінювач; 3 – картон; 4 – електронні ваги; 5 – пірометр.

Рисунок 29 – Фото лабоарторної установки сушіння цеоліту

Лабораторна установка містить:

- інфрачервоний керамічний електричний випромінювач типу ЕСН4, нагрівальним елементом якого є реостатна проволочка, що залита в керамічний корпус. Максимальна потужність випромінювача 1 кВт, розміри робочої поверхні випромінювання 122 x122 мм;
- електронні ваги Kern 440-21A, що дозволяють вимірювати масу зразка до 60 грам. Похибка вимірювання становить не більше 0,001 г, частота вимірювань - 3 виміри на секунду;
- комп'ютер забезпечує безперервний запис і обробку результатів вимірювання з електронних ваг;
- пірометр TN425LE безконтактно вимірює температуру поверхні зразка з відносною похибкою  $\pm 0,5\%$ ;
- ватметр, амперметр та вольтметр постійно контролюють напругу і силу струму та потужність випромінювача, які необхідні для контролю інфрачервоного випромінювача.

Необхідно зауважити, що джерело теплоти при розмірі зазору між частинками менше 10 мм можна не вводити в математичну модель, а врахувати в граничних умовах [11].

### **3.3.Методика проведення експерименту з дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту**

Експериментальні дослідження процесу сушіння цеоліту виконані на комп'ютеризованій установці [21]. Вона дає змогу безперервно вимірювати під час процесу сушіння зміну маси зразка. Результати вимірювань з частотою 3 Гц передались на комп'ютер для реєстрації та подальшої обробки. За джерело теплової енергії використано електричний інфрачервоний випромінювач керамічного типу з номінальною електричною потужністю 1 кВт. Для зменшення теплових втрат від випромінювача в навколишнє середовище над випромінювачем встановлено рефлектор.

Для дослідження використано зразки зволоженого цеоліту фракції 0–1 мм з початковим вологовмістом близько 30 %. Частинки цеоліту укладалися щільним шаром висотою 1 мм на металеву підкладку, встановлену на електронні ваги під робочою поверхнею інфрачервоного випромінювача.

### **3.4.Результати досліджень кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту**

Результати експериментальних досліджень кінетичних закономірностей наведено в Додатку Б. За результатами експериментальних даних побудовано графічні залежності вологовмісту та температури зовнішньої поверхні (рис. 30, 31).

Побудовано криві сушіння цеоліту за різної густини теплового потоку  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> (рис. 30), форма яких характерна для капілярно-пористих тіл, наприклад, паперу [14]. А сам цеоліт суттєво не впливає на кінетичні закономірності процесу сушіння паперу в якості наповнювача [22].

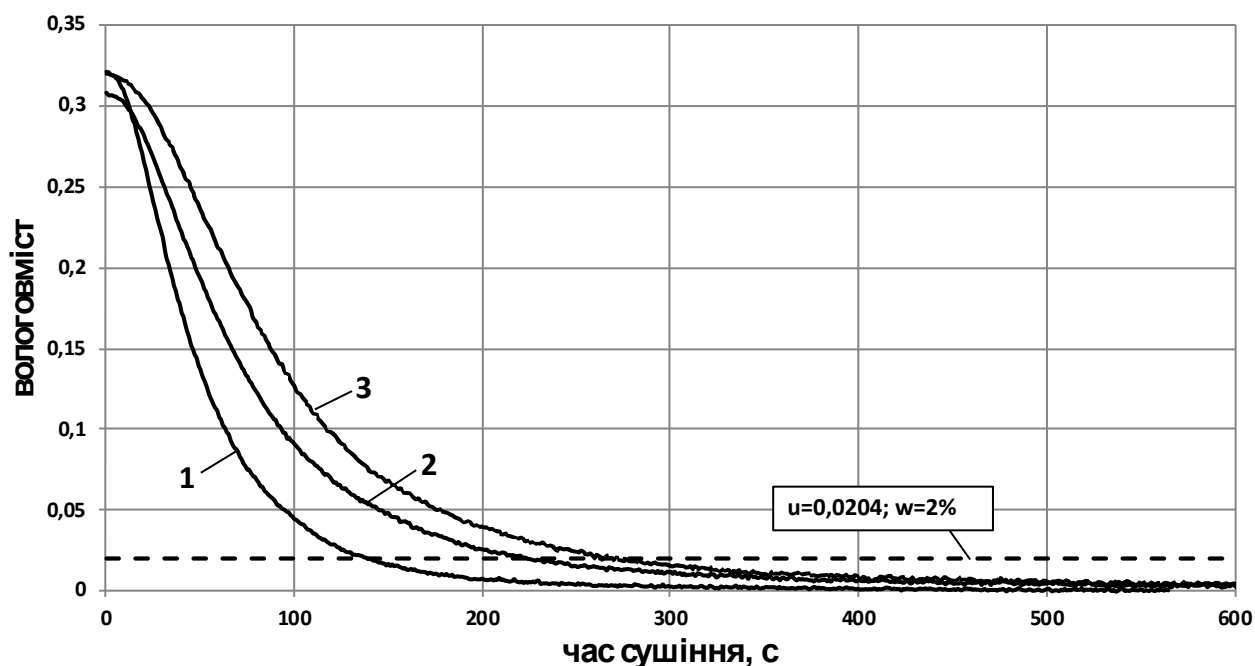


Рисунок 30 – Залежність вмісту води від часу сушіння цеоліту (фракція 0–1 мм) за різної густини теплових потоків: 1 –  $q \approx 21$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q = 18$  кВт/м<sup>2</sup>; 3 –  $q = 14$  кВт/м<sup>2</sup> [23]

Початковий вологовміст  $u_0$  цеоліту, вологовміст на початку  $u_1$  та наприкінці  $u_{lk}$  періоду прогріву за часу  $\tau_{np}$  та  $\tau_{lk}$ , тривалість сушіння  $\tau_{\Sigma}$  до вологості  $w = 2\%$  та швидкість сушіння в першому періоді  $N$  згідно рисунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники сушіння цеоліту згідно рис. 30

$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$u_0$	$u_1$	$u_{lk}$	$\tau_{np}$ , с	$\tau_{lk}$ , с	$\tau_{\Sigma}$ , с ( $w = 2\%$ )	$t_{\max}$ , °C	$N$ , с <sup>-1</sup>
14	0,2	0,3	0,15	22	88	264	240	0,0024
18	0,31	0,29	0,15	16	67	207	310	0,003
21	0,32	0,3	0,15	12	46	131	456	0,0047

Прямолінійні ділянки кривих сушіння (перший період сушіння) відображають випаровування поверхневої води і води з великих капілярів. Швидкості цих процесів постійні. Зі збільшенням густини теплового потоку пропорційно збільшується швидкість випаровування, а час сушіння зменшується.

Тривалість другого періоду, в якому випаровується волога з мікрокапілярів і адсорбційно-зв'язана вода, зі збільшенням густини теплового потоку також зменшується. До кінцевої вологості 2 % сушіння цеоліту триває до 264 с. Проте тривалість сушіння до рівноважного вологовмісту сягає більше 500 с. Наявність приведених кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту дасть змогу більш точно визначати необхідний час сушіння для розрахунку сушильної установки, що може знизити енерговитрати на пересушування [23].

Аналіз розподілу часу протікання процесу сушіння в першому і другому періодах показує, що більш тривалим і повільним процесом є другий період. Істотне збільшення швидкості сушіння в другому періоді спостерігається за максимального збільшення густини теплового потоку. А максимальна температура цеоліту досягається наприкінці сушіння та також зростає зі збільшенням густини теплового потоку.

Також визначено, що вологовміст в кінці першого періоду і, відповідно, на початку другого постійний, не залежить від густини теплового потоку і становить 0,15 кг/кг.

Виконано дослідження сушіння цеоліту фракційного складу 0–1 мм і 0–5 мм за висоти шарів 3 і 5 мм і густині теплового потоку  $q=21$  кВт/м<sup>2</sup>.

Отримані криві сушіння цеоліту наведено на рисунку 31.

Для детального аналізу аналогічні криві сушіння цеоліту в діапазоні 0–450 с показано на рисунку 32.

Показники сушіння цеоліту за сталої густини теплового потоку та різних фракцій  $d$  і висот шару  $h$  згідно рисунку 32 наведено в таблиці 2.

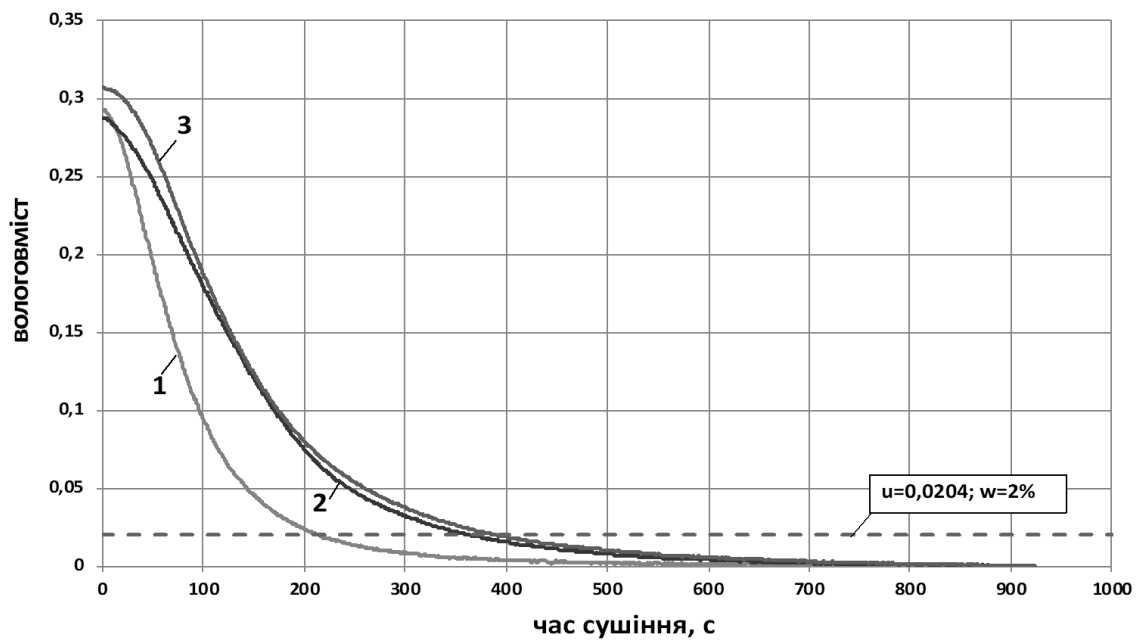


Рисунок 31 – Залежність вологовмісту шарів цеоліту від часу сушіння за густини теплового потоку  $21 \text{ кВт/м}^2$  в діапазоні 0–1000 с: 1 – фракція 0-1 мм, висота шару 3 мм; 2 – фракція 0-1 мм, висота шару 5 мм; 3 – фракція 0-5 мм, висота шару 5 мм [23]

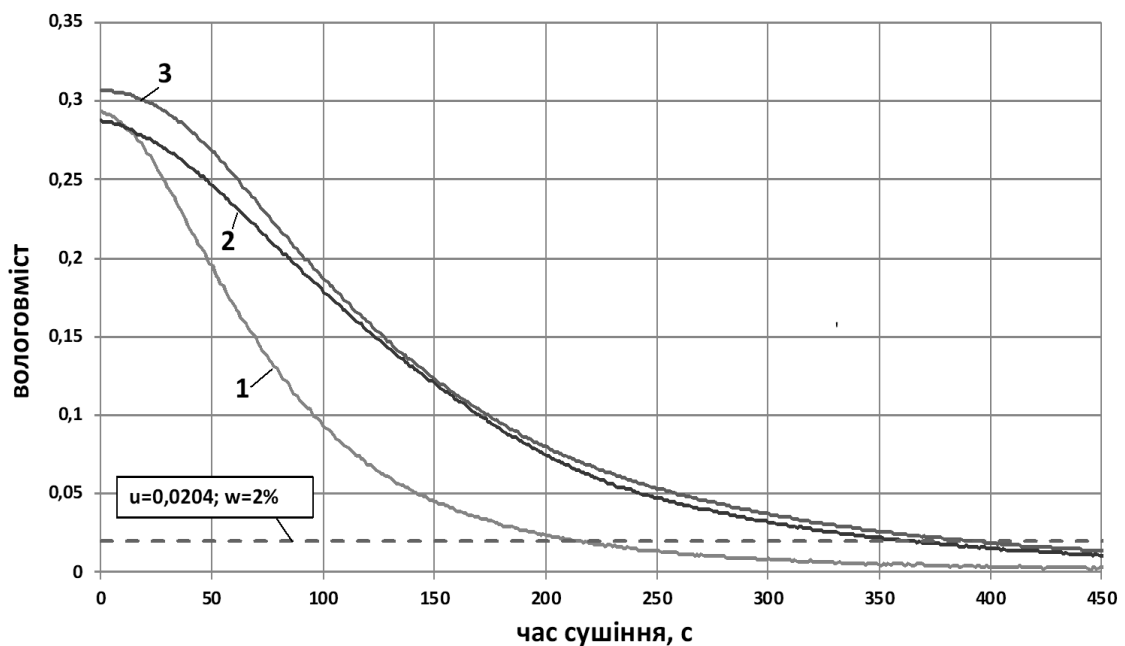


Рисунок 32 – Залежність вологовмісту шарів цеоліту від часу сушіння в діапазоні 0–450 с за густини теплового потоку  $21 \text{ кВт/м}^2$ : 1 – фракція 0-1 мм, висота шару 3 мм; 2 – фракція 0-1 мм, висота шару 5 мм; 3 – фракція 0-5 мм, висота шару 5 мм

Таблиця 2 – Показники сушіння цеоліту згідно рис. 3

$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$d$ , мм	$h$ , мм	$u_0$	$u_1$	$u_{1k}$	$\tau_{пр}$ , с	$\tau_{1k}$ , с	$\tau_{\Sigma}$ , с ( $w=2\%$ )	$t_{max}$ , °C	$N$ , с-1
21	0-1	3	0,29	0,25	0,15	22	71	212	415	0,0025
21	0-1	5	0,29	0,25	0,15	46	125	360	431	0,0013
21	0-5	5	0,31	0,27	0,17	48	112	388	438	0,0016

З таблиці 2 видно, що швидкість сушіння цеоліту за однакової товщини шару та густині теплового потоку зростає зі збільшенням величини розміру часток фракції. Це можна пояснити зростанням порозності подрібненого цеоліту. Також збільшення швидкості в першому періоді сушіння зменшує його тривалість. Встановлено, що величина фракцій цеоліту на швидкість сушіння в другому періоді не впливає.

Отримані дані показали, що значення вологовмісту в кінці першого періоду сушіння постійне як при зміні густини теплового потоку, так і при зміні товщини шару. Проте за збільшення величини фракція цей вологовміст зростає.

Також встановлено, що час сушіння цеоліту залежить від товщини його шару. Так, під час сушіння цеоліту однакової фракції та густини теплового потоку зі збільшенням товщини шару швидкість сушіння зменшується, а тривалість кожного періоду сушіння збільшується [23].

Важливе значення для вибору режимів сушіння має залежність температури цеоліту різних фракцій та товщини шару від часу сушіння, що представлена на рисунку 33.

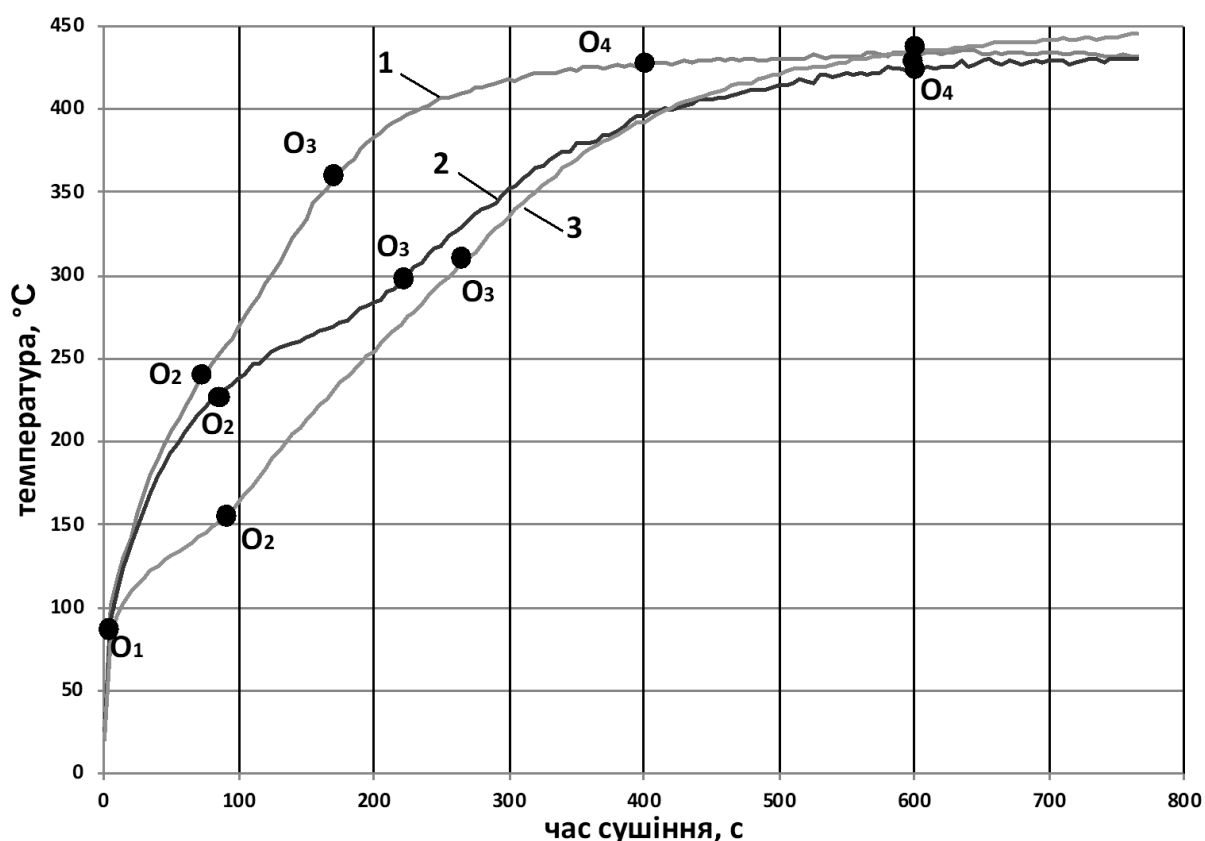


Рисунок 33 – Залежність температури поверхні цеоліту від часу сушіння: 1 – фракція 0–1 мм, висота шару 3 мм; 2 – фракція 0–1 мм, висота шару 5 мм; 3 – фракція 0–5 мм, висота шару 5 мм [23]

З графіків на рис. 5 видно, що всі шари фракції нагріваються дуже швидко до температури 90 °C ( $O_1$ ), після якої починається випаровування поверхневої вологи і темп зростання температури знижується до точок прогину кривих  $O_2$ . Від точок  $O_2$  до точок  $O_3$  здійснюється випаровування вологи з великих і дрібних капілярів і прогрівання шарів, а також зниження кількості надходження теплоти в результаті зменшення різниці температур між випромінюючою поверхнею і поглинаючою поверхнею шару. Від точок перегину  $O_3$  і до  $O_4$  здійснюється випаровування адсорбційно-зв'язаної та, частково, хімічно-зв'язаної води до практично повного зневоднення. Зростання температури в першому періоді сушіння свідчить, що швидкість випаровування в цьому періоді не лімітується швидкістю підведенням теплоти.



Встановлено кінетичні закономірності процесу сушіння цеоліту різних фракцій радіаційним способом за різних густин теплових потоків. Визначено важливі параметри процесу сушіння та вибрано фракцію 0–5 мм як більш перспективну для сушіння.

### 3.5. Визначення похибки вимірювань

Під час проведення експерименту використовувались такі вимірювальні пристрої:

- електронні ваги (дискретність 0,001 г, точність  $\pm 0,001$  г);

Отже максимальна абсолютна похибка становить:

- при вимірювання маси  $\Delta = \pm 0,0005$  г;

Відносна похибка:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{дійсне}}} = \frac{\Delta}{\mp \Delta + x_{\text{виміряне}}} \quad (44)$$

Найбільша відносна похибка вимірювань буде при мінімальному значенні, що вимірюється. Для маси 0,220 г/м<sup>2</sup> воно становить (додаток Г).

Тоді максимально можлива відносна похибка вимірювання маси:

$$\delta_{m \max} = \frac{\Delta_m}{\pm \Delta_m + m_{\min}} = \frac{0,001}{\pm 0,001 + 0,220} \cdot 100\% = 0,45\% \quad (45)$$

Середньгеометрична відносна похибка діапазону вимірювання:

$$\delta_{\text{діап.}} = \sqrt{(\delta_{\text{поч.}})^2 + (\delta_{\text{кінц.}})^2} \quad (46)$$

де  $\delta_{\text{поч.}}$ ,  $\delta_{\text{кінц.}}$  – відносна похибка початкового та кінцевого значення діапазону вимірювальних величин.

### 3.6. Перевірка адекватності математичної моделі

Проведено перевірку адекватності отриманого рівняння регресії експериментальним значенням сорбційної ємності дослідних зразків. Перевірка адекватності виконувалась за методом Фішера [24].

Визначаємо розрахункове значення  $F$ - критерію Фішера, яке має вигляд співвідношення (табл. 3):

$$F_{\text{розр}} = s_{\text{ад}}^2 / S_y^2, \text{ якщо } s_{\text{ад}}^2 > S_y^2; \quad (47)$$

$$F_{\text{розр}} = S_y^2 / s_{\text{ад}}^2, \text{ якщо } S_y^2 > s_{\text{ад}}^2; \quad (48)$$

де  $s_{\text{ад}}^2$ - дисперсія адекватності (для теоретичних даних);

$S_y^2$ - дисперсія відновлюваності (для експериментальних даних).

Для початку визначаємо дисперсію адекватності (за теоретичними даними):

$$s_{\text{ад}}^2 = n \sum_{j=1}^n (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 / f_{\text{ад}} \quad (49)$$

Дисперсію відновлюваності дослідів (за експериментальними даними):

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (50)$$

Таблиця 3 – Значення  $F$ - критеріїв Фішера [24]

№ дослідів	Розрахунковий $F_p$ - критерій Фішера	Табличний $F_T$ - критерій Фішера
1	0,001	216
2	20,03	216
3	57,47	216
4	46,09	216
5	22,65	216
Сер. знач.	29,25	216

$$F_p < F_T = 73,04 < 216 \quad (51)$$

Таким чином, вірогідність повторюваності результатів розв'язку становить 97% [20].

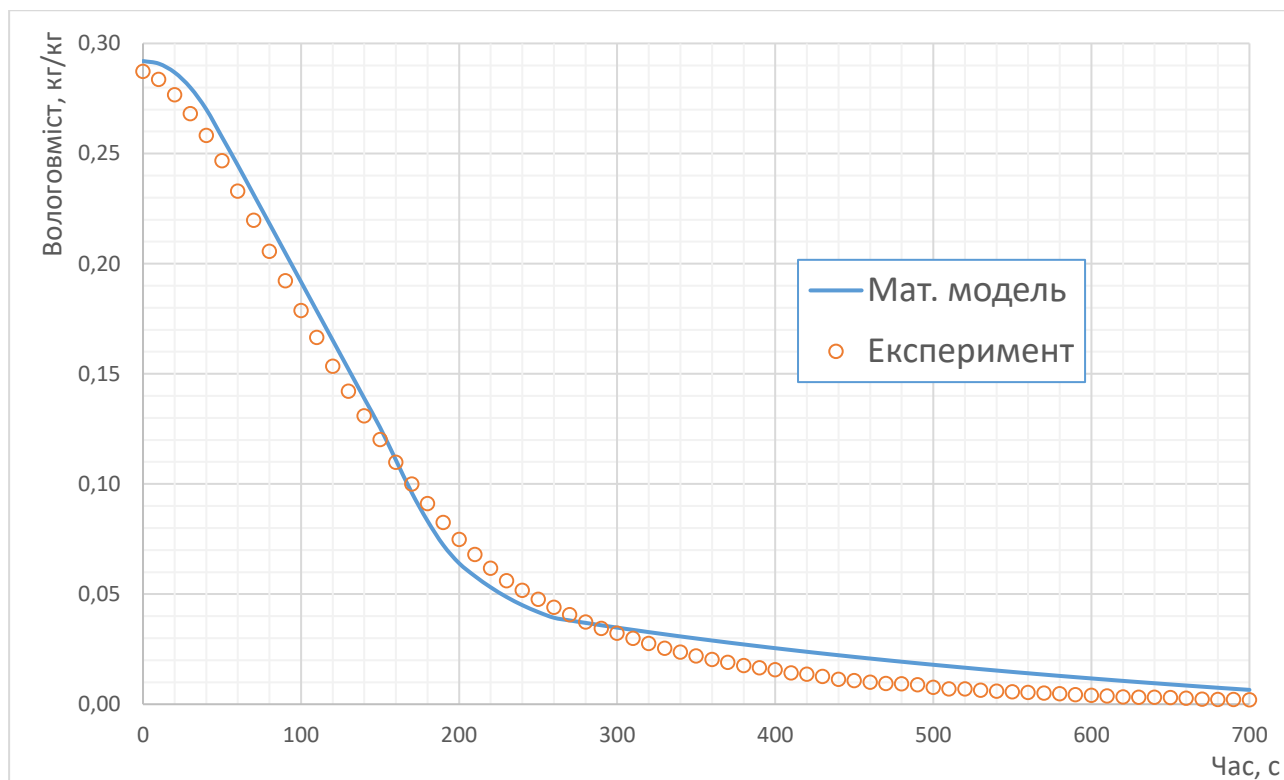


Рисунок 34 – Перевірка адекватності теоретичної залежності вологовмісту цеоліту від часу сушіння

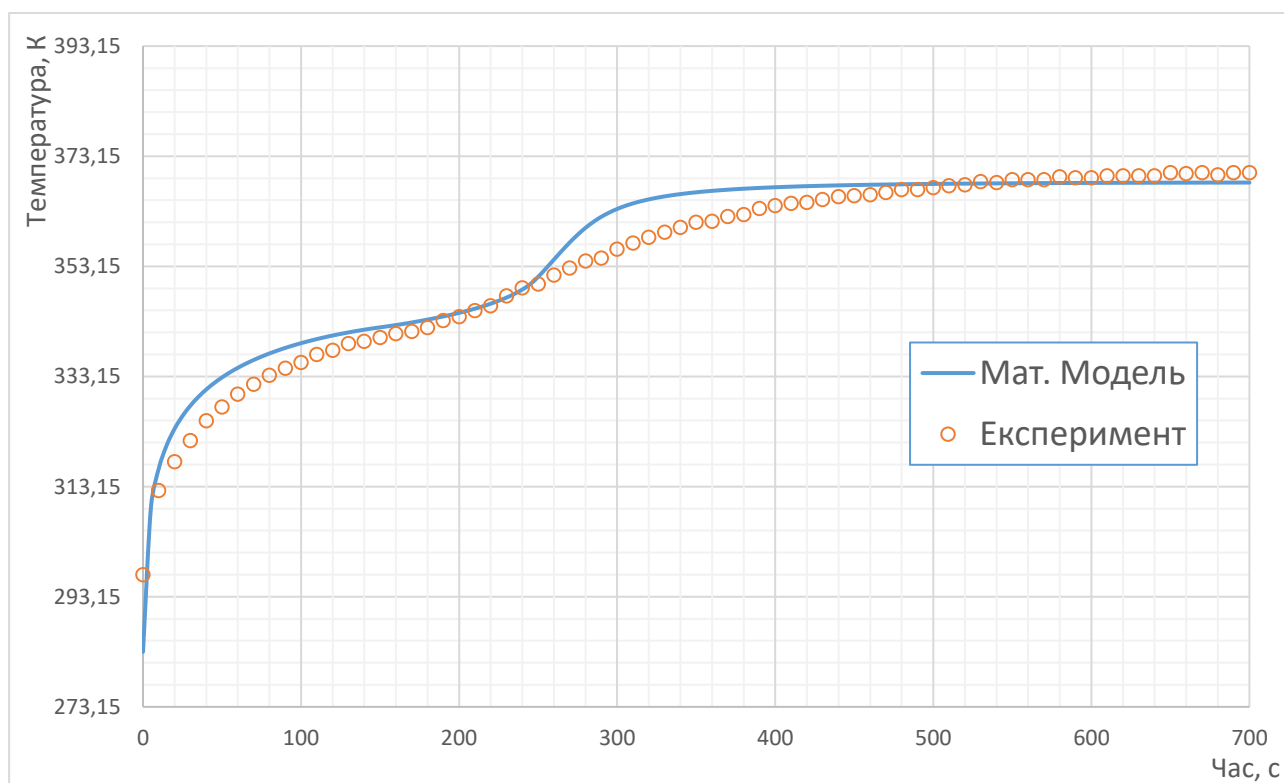


Рисунок 35 – Перевірка адекватності теоретичної залежності температури зовнішньої поверхні цеоліту від часу сушіння

Проведено перевірку адекватності даного рівняння регресії, та визначено що рівняння регресії відтворюватиме значення критерію оцінки з тією ж точністю, що і результати експерименту.

### **3.7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Відповідно до Закону України до технічного обладнання про умови праці від 14. 10 1992 р. необхідно розробити умови праці для обслуговуючого персоналу, обрати засоби захисту.

В даній магістерській дисертації на тему «**Процес сушіння цеоліту**» представлено сушильну камеру та апарат псевдозрідженого шару.

Дослідницькі роботи виконує інженер-дослідник, який займається своїми обов'язками в приміщенні площею  $S = 10 \text{ м}^2$  та загальним об'ємом приміщення  $V = 30 \text{ м}^3$ .

Під час роботи сушильну камеру та апарат псевдозрідженого шару, мають місце наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- виробничий шум;
- електробезпека;
- повітря робочої зони;
- пожежна безпека.

Правила безпеки під час роботи відповідають «Єдиним вимогам безпеки до технічного обладнання целюлозно-паперових виробництв». На всіх підприємствах та в лабораторіях створено здорові та безпечні умови праці.

Ці умови включають раціональне використання площі виробничих приміщень та місць розташування обладнання, коректну експлуатацію обладнання і організацію технологічних процесів, захист працюючих від впливу шкідливих умов праці, дотримання у виробничих приміщеннях, місцях розташування обладнання та на робочих місцях санітарно-гігієнічних норм та правил. До проведення експерименту допускаються лише працівники, які пройшли інструктаж та знаходяться в приміщенні.

### **3.7.1. Виробничий шум**

Основним джерелом шуму при роботі промислових сушарок є вентилятор як в сушильних камерах, так і в апаратах псевдозрідженого шару.

При проведенні досліджень використовувався осьовий вентилятор із рівнем шуму 98 дБА.

Зниження рівня шуму досягається за допомогою шумопоглинаючої ізоляції. Об'єкт, який випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покривають шумопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи, не ускладнювати його обслуговування, не псувати інтер'єр. Даний шумопоглинаючий матеріал дозволяє знизити шум на 30 дБА.

Також для зменшення шуму необхідно слідкувати за рівнем змащувальної речовини в підшипниках, що дозволяє зменшити шум на 8...10 дБА.

Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до рівня, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99 до 60дБА.

Рекомендовано в лабораторіях, де є шум встановлювати: двокамерні вікна 4-14-3.3.1(6.38) Тріплекс – звукоізоляція яких 28..30 дБА; шумопоглинальні двері фірми Алькон – 30 дБА.

Персонал, який працює, забезпечений протишумовими навушниками ПШН Б ГОСТ12.4.051.87, що знижують рівень шуму до 22...28 дБА, зусилля притискання регулюється згинанням і розгинанням наголовника, протишумовими вкладишами «Беруши СТ 1» ТУУ25513947.002-99, що призначенні для індивідуального захисту органів слуху від виробничих та побутових шумів, які знижують рівень шуму до 16...20 дБА (є засобами одноразового використання).

### **3.7.2. Електронебезпека**

Клас приміщення, в якому розміщена лабораторна установка– по ПУЕ – II, оскільки в лабораторії розміщено понад 20 навчальних лабораторних установок.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Класифікація приміщення за характером навколишнього середовища – вологе (відносна вологість повітря в приміщенні перевищує 75%).

Оскільки для роботи обладнання використовується струм напругою 220/380В та частотою 50 Гц, то використовують трьохфазну трьох провідникову мережу з ізольованою нейтраллю, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочі напруги – лінійну та фазову. Мережа з ізольованою нейтраллю в ізольованому режимі є найбільш безпечною при доторканні до фазового проводу.

Міри, що забезпечують електробезпеку:

1. в робочому режимі:

- забезпечення неприступності струмоведучих частин (розміщення на неприступній висоті, більш 2,7м., огороження зон підключення устаткування);
- надійно ізолюємо елементи конструкції, що проводять електричний струм ( $R_{iy} \geq 0,5 \text{ МОм}$  – опір ізоляції);
- кабелі укладаємо в «рукави»;
- встановлюємо електричне блокування на огорожі струмоведучих частин;
- встановлюємо орієнтацію в електроустановках (попереджувальні сигнали та знаки; написи «220 В», «380 В» та таблички «Обережно! Електрична напруга»; знаки високої напруги; відповідне розташування і колір неізольованих струмоведучих частин і ізоляції; фарбування органів управління у відмінний від інших колір та встановлення світлової сигналізації); обслуговуючому персоналу видаємо засоби захисту (діелектричні килимки, рукавички, індикатори струму та напруги);

2. в аварійному режимі : захисне заземлення. Розрахунок захисного заземлення наведений в п. 3.11.3.

У разі дотику людини до незаземленого корпусу сила струму, що протікає через людину:

$$I_{\text{лд}} = \frac{U_{\text{м}}}{R_{\text{лд}} + \frac{r}{3}} = \frac{220}{2000 + 10000/3} = 0,41, \text{ А} \quad (52)$$

де  $U_{\text{м}}$  — напруга мережі;

$r$  — опір витoku проводу мережі, Ом;

$R_{\text{лд}}$  — опір кола людини, Ом.

Для людини рівень 0,2мА. Тому в аварійному режимі приміняється захисне заземлення, розрахунок захисного заземлення наведено нижче.

### 3.7.3. Розрахунок захисного заземлення

Початкові дані:

1. Виконання мережі — з ізолюованою нейтраллю. Напруга мережі 380/220 В.
2. Тип заземлюваного пристрою — вертикальні сталеві труби з розмірами:  $l_{\text{в}} = 3 \text{ м}$ ;  $d_{\text{в}} = 0,35 \text{ м}$ ; товщина стінки —  $\delta = 3,5 \text{ мм}$ ; відстань між вертикальними заземлювачами  $a = 3 \text{ м}$ ; глибина закладання заземлювачів —  $H_0 = 0,7 \text{ м}$ ;  $B_{\text{с}} = 40 \text{ мм}$ .

3. Грунт — глина; склад — однорідний; вологість — мала. Кліматична зона — III.

Розв'язок:

1. Визначаємо  $R_{\text{д}}$  — допустиме (нормативне значення опору розтікання струму в заземлюваному пристрої. Згідно з ПУЕ,  $R_{\text{д}} \leq 4 \text{ Ом}$ .
2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III кліматичної зони:

$$r_{\text{розр}} = r_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с}} \quad (53)$$

$$r_{\text{табл}} = 60 \text{ Ом} \quad (54)$$

$$K_{\text{с}} = 1,5 \quad (55)$$

$$r_{\text{розр}} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом}. \quad (56)$$

3. Визначаємо  $H$  — відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача

$$H = H_0 + \frac{l_{\text{в}}}{2} = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м}. \quad (57)$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \frac{r_{\text{розр}}}{l_B} \left( \lg \frac{2l_B}{\delta} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H+l_B}{4H-l_B} \right); \quad (58)$$

$$R_B = 0,366 \frac{90}{3} \left( \lg \frac{2 \cdot 3}{0,035} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2+3}{4 \cdot 2,2-3} \right); \quad (59)$$

$$R_B = 26,4 \text{ Ом}. \quad (60)$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при  $n_B = 1$ :

$$n_{op} = \frac{R_B}{R_d \cdot n_B} = \frac{26,4}{4 \cdot 1} = 6,6 \quad (61)$$

Приймаємо  $n_{op} = 7$  шт.

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $n_B$ . Заземлювачі розташовані в ряд, приймаємо  $n_B = 0,7$ .

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання:

$$n_B = \frac{n_{op}}{n_{op}} = \frac{7}{0,7} = 10 \quad (62)$$

Приймаємо  $n = 10$  шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при  $n = 10$  шт без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{\text{розр.В}} = \frac{R_B}{n \cdot n_B} = \frac{26,4}{10 \cdot 0,7} = 3,8 \text{ Ом} \quad (63)$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1,05 - a(n - 1) = 1,05 - 0,3(10 - 1) = 3,8 \text{ м} \quad (64)$$

10. Визначаємо опір розтікання струму:

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{90}{31,5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 31,5^2}{0,7 \cdot 0,04} = 5,48 \text{ Ом} \quad (65)$$

11. Приймаємо коефіцієнт використання вертикального заземлювача  $n_r = 0,56$ .

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням  $n_r$ :

$$R_{\text{розр.г}} = \frac{R_r}{n_r} = \frac{5,48}{0,56} = 9,8 \text{ Ом} \quad (66)$$



13.Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{\text{розр.}} = \frac{R_{\text{розр.в}} \cdot R_{\text{розр.г}}}{R_{\text{розр.в}} + R_{\text{розр.г}}} = \frac{3,8 \cdot 9,8}{3,8 + 9,8} = 2,7 \text{ Ом.} \quad (67)$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

Виконано заземлення відповідно до ГОСТ 12.1.030 – 86.

14.Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників і магістральної шини. Приймаємо сталеву шину товщиною  $\delta = 4$  мм і перерізом  $100 \text{ мм}^2$ .

При заземненні:

$$I_{\text{лд}} = \frac{U_{\text{м}}}{R_{\text{лд}} + \frac{r}{3} + R_{\text{лд}} r / 3 R_p} = \frac{220}{2000 + \frac{10000}{3} + \frac{2000 \cdot 10000}{3 \cdot 2,7}} = 0,001, \text{ А} \quad (68)$$

Схема з'єднування обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм наведена на рис. 36.

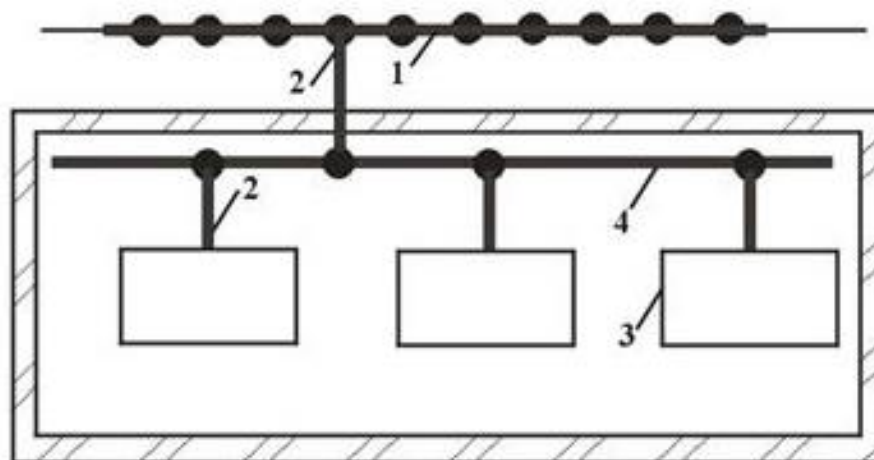


Рисунок 36 – Схема захисного заземлення:

1 – заземлюючий пристрій, 2 – заземлюючі провідники; 3 – обладнання, що заземлюється, 4 – внутрішня магістраль заземлення.

В даному випадку використовується електромагнітне блокування. Електромагнітне блокування дозволяє виключити можливість виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням,

включення заземлюючих ножів на частину лінії під навантаженням, подачу навантаження на заземлену частину лінії. Виконується таке блокування за допомогою однакових по конструкції електромагнітних замків і одного електромагнітного ключа.

Забезпечення електробезпеки при експлуатації апаратів для данної лінії є дуже важливим чинником, знижує смертність та травматизм серед обслуговуючого персоналу в виробничих умовах.

#### 3.7.4. Повітря робочої зони

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів метеорологічних умов: температури, відносної вологості, а також кількості шкідливих речовин, що виділяються при роботі сушильної установки, а саме пил та волокна, ГДК = 30 мг/м<sup>3</sup>.

Параметри метеорологічних умов відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 4 – Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт	Оптимальні			Фактичні		
		t, °C	W, %	V, (м/с)	t, °C	W, %	V, (м/с)
Теплий	Середньої важкості Пб	22-24	60-40	0,2	28-21	60	0,3-0,1
Холодний	Середньої важкості Пб	21-23	60-40	0,1	24-20	75	0,2

Для безпосереднього відводу шкідливих речовин, від місця їх виникнення чи виділення, встановлюється вентиляційний ковпак закритого типу з фільтром продуктивністю 360 м<sup>3</sup>/год, після встановлення ковпака фактичні концентрації 15 мг/г<sup>3</sup>. Що відповідає ГОСТ 12.1.005 – 88/99.

### 3.7.5. Пожежна безпека в разі надзвичайної ситуації

При температурі 250 °С можливе займання картону. Згідно ОНТП 24-86 приміщення для цієї апаратури відносять до категорії Б – пожежонебезпечні класи зони 22 (ПУЕ), відповідно до правил влаштування електроустановок. Відповідно до СНиП 2.01.02 -85, будівля відноситься до 1-ого ступеня вогнестійкості.

Можливими причинами пожежі можуть бути:

- порушення технологічного процесу;
- паління в невстановленому місці;
- несправність електрообладнання та електропроводки;
- розряди статичної електрики.

Першим засобом гасіння пожежі є вогнегасник, а також бочки з водою та ящики з піском.

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент фарбується у чорний колір.

Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлюються у виробничому приміщенні. Такі бочки повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л. Ящики для піску мають місткість 0,5; 1,0 або 3,0 м<sup>3</sup> та укомплектовані совковою лопатою.

Є необхідним використання первинних засобів пожежогасіння:

- вогнегасників «САМ-9» у кількості 3 штук. Закачний порошковий вогнегасник, для пожежного захисту об'єктів без участі людини для тушіння пожарів: класах А, В та С згідно ГОСТ 27331-87. Установка може застосовуватись в якості автоматичного засобу пожежогасіння для захисту невеликих по об'єму проектів;
- переносні вогнегасники «ОУ-3\*(ОУ-2)» - 2 штуки. Призначенні для роботи при температурі від -20<sup>0</sup>С до +50<sup>0</sup>С і відносною вологістю не більше 95%. Вогнегасники призначенні для тушіння пожарів класу А,Б,В згідно ГОСТ 27331-87. ;

- ящики для піску місткістю 1,0 або м<sup>3</sup>- 2 штук, місткістю укомплектованих совковою лопатою,
- пожежних гідрантів - 2 штук;
- протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна повинні мати розмір не менш як 2×1 м та 2×2 м;
- апарати МПА. Призначенні для захисту органів дихання і зору від впливу високотоксичного газового середовища при виконанні рятувальних і технічних робіт на об'єктах хімічних лабораторій та підприємств. Може бути використана при виконанні різних нетривалих робіт при огляді запірного устаткування. Має полегшену підвіску, що дозволяє застосовувати його як у положенні на спині, так і в положенні на поясі. Наявність візуального і звукового контролю залишку повітря в балоні, а також надлишковий тиск під маскою підвищують безпеку використання апарата в аварійних умовах.

Протипожежна безпека формуючої та сушильної частини відповідає вимогам вогнестійкості II СНиП 2.01.02-85.

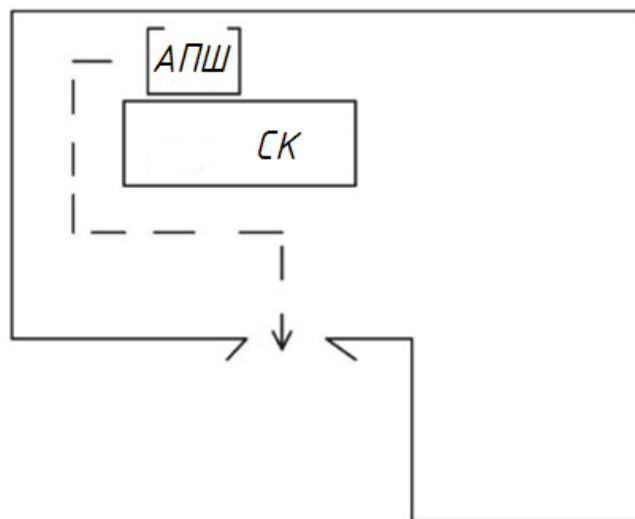


Рисунок 37 – План евакуації виробничого приміщення

Потрібно пам'ятати, що гасіння електропровідними речовинами електроприладів, що знаходяться під напругою, забороняється.

### 3.8. Висновки

Розроблено експериментальну установку та методику проведення експериментів. Для дослідження процесу сушіння цеоліту виконано дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту від початкового вологовмісту  $u_0$  до рівноважного  $u_p$  при розмірах фракції 0-1 мм та 0-5 мм для різних теплових потоків.

Розроблено установку для визначення гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою на якій виконано досліди для спрощення розрахунку промислових апаратів (Додаток В), коефіцієнт гідравлічного опору якої становить  $\xi = 701,16$ , а величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0,99 \approx 1$ , що доводить адекватність рівняння регресії..

Проведено узагальнення результатів експерименту у вигляді кінетичних залежностей, що описують процес сушіння цеоліту зі зміною вологовмісту цеоліту від початкового вологовмісту  $u_0$  до рівноважного  $u_p$  при розмірах фракції 0-1 мм та 0-5 мм для різних теплових потоків..

Перевірено адекватність математичної моделі.

Розроблено заходи щодо охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1.Схема сушіння цеоліту

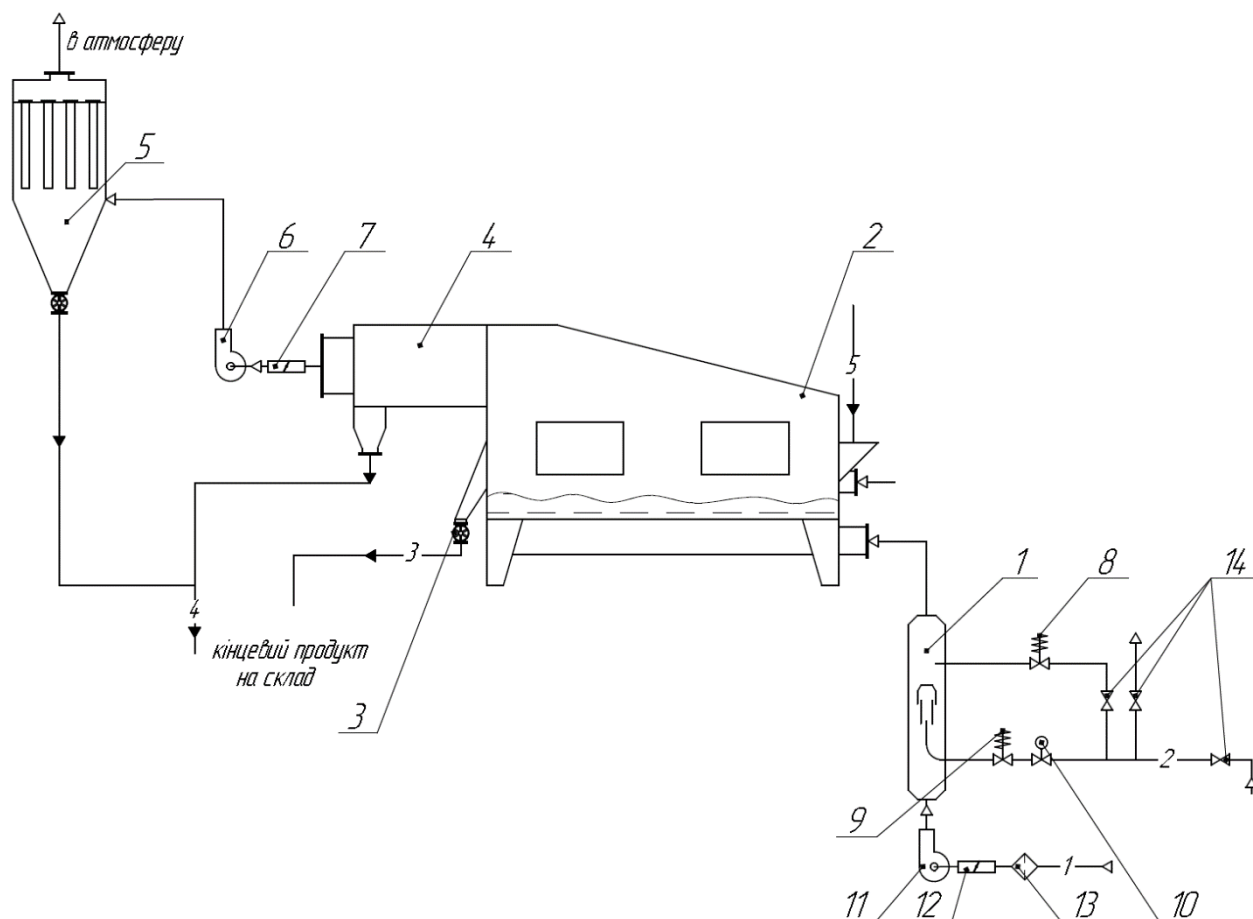


Рисунок 38 – Схема сушіння цеоліту

1 – пальник, 2 – апарат для сушіння, 3 – живильник, 4 – циклон, 5 – рукавний фільтр, 6 – вентилятор витяжний, 7, 12 – шибер, 8, 9 – клапан відсікаючий електромагнітний, 10 – клапан регулюючий, 11 – вентилятор нагнітаючий, 13 – фільтр, 14 – вентиль; потоки: 1 – повітря (теплоносії), 2 – газ (метан), 3 – крупна фракція цеоліту ( $> 0,1$  мм), 4 – дрібна фракція цеоліту ( $< 0,1$  мм), 5 – вологий цеоліт

Цеоліт подається до апарату псевдозрідженого шару 2, де відбувається конвективний процес сушіння. Теплоносієм виступає повітря, яке нагрівається в пальнику 1 шляхом спалювання газу. Готовий продукт вивантажується із апарату

через живильник 3. Дрібнодисперсний матеріал спочатку відділяється від теплоносія у циклоні 4 та в рукавному фільтрі 5.

Висушений цеоліт двома потоками подається за допомогою шнекового транспортеру у відділення сортування та тарування в Біг-беги.

#### **4.2.Алгоритм розрахунку апарату для сушіння цеоліту**

Для виконання розрахунку газорозподільчого пристрою виконано експеримент з визначення коефіцієнту гідравлічного опору газорозподільчого пристрою та виконано розрахунок згідно ГОСТ 8.586.1-2005. Опис лабораторної установки, методика проведення експерименту та експериментальні дані наведено в Додатку В.

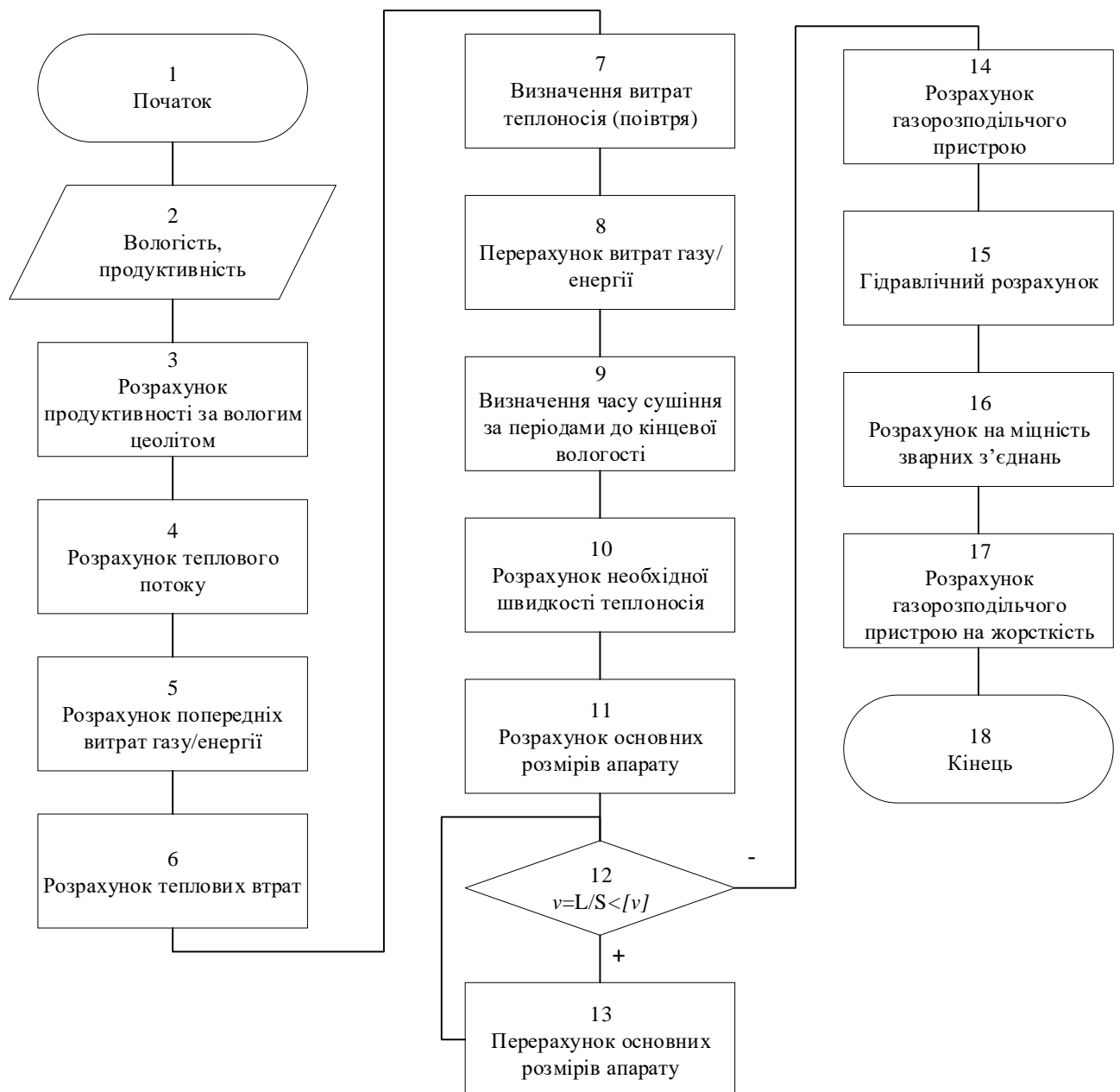


Рисунок 39 – Алгоритм розрахунку апарату для сушіння цеоліту

### 4.3.Методика розрахунку апарату для сушіння цеоліту

#### 4.3.1. Матеральний баланс

Продуктивність за вологим матеріалом:

$$G_{\Pi} = G_{\kappa} \frac{1-w_{\kappa}}{1-w_{\Pi}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (69)$$

де  $G_{\kappa}$  – кінцева продуктивність за висушеним цеолітом, кг/с;

$w_{\kappa}$  – кінцева вологість, кг/кг;



$w_{\text{п}}$  – початкова вологість, кг/кг.

Продуктивність за випаруваною вологою:

$$G_{\text{вв}} = G_{\text{п}} - G_{\text{к}} \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (70)$$

#### 4.3.2. Тепловий баланс

Тепловміст повітря на вході в пальник:

$$i_0 = (1 + 1,96x_0)t_0 + 2480t_0, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (71)$$

де  $2480 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – питома теплота пароутворення  $t = 10^\circ\text{C}$  [25].

Тепловий потік, який необхідний для висушування матеріалу (за тепловим балансом):

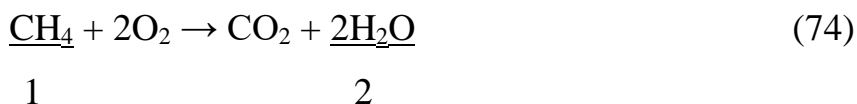
$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{\psi} G_{\text{к}}(1 - w_{\text{к}})[(c_{\text{м}} + c_{\text{в}} \cdot u_{\text{п}})(\theta_2 - \theta_1) + (u_{\text{п}} - u_{\text{к}})r] = \\ &= \frac{1}{\psi} G_{\text{к}}(1 - w_{\text{к}}) \left[ \left( c_{\text{м}} + c_{\text{в}} \cdot \frac{w_{\text{п}}}{1 - w_{\text{п}}} \right) (\theta_2 - \theta_1) + \left( \frac{w_{\text{п}}}{1 - w_{\text{п}}} - \frac{w_{\text{к}}}{1 - w_{\text{к}}} \right) r \right], \text{кВт}, \end{aligned} \quad (72)$$

де  $r = 2333 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – питома теплота пароутворення при  $80^\circ\text{C}$  [25].

Витрати палива:

$$l_{\text{пал.}} = \frac{Q}{Q_{\text{р}} \cdot \eta}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (73)$$

Реакція згоряння палива



$$n_{\text{CH}_4} \qquad n_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{l_{\text{пал.}}}{V_{\text{м}}}, \frac{\text{моль}}{\text{с}}, \quad (75)$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} : n_{\text{CH}_4} = 1 : 2 \quad (76)$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot n_{\text{CH}_4}, \frac{\text{моль}}{\text{с}}, \quad (77)$$

де  $V_{\text{м}} = 22,4 \frac{\text{м}^3}{\text{кмоль}}$  – молярний об'єм,

$n_{\text{H}_2\text{O}}$  – кількісні витрати води,  $\frac{\text{моль}}{\text{с}}$ ;

$n_{\text{CH}_4}$  – кількісні витрати метану,  $\frac{\text{моль}}{\text{с}}$ .

Кількість води, що виділяється за визначених витрат палива:

$$l_{\text{в}} = M_{H_2O} \cdot n_{H_2O}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (78)$$

де  $Mr_{H_2O} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$  – молярна маса води.

Попередньо приймаються питомі витрати повітря за процесом побудованим на І-х діаграмі вологого повітря.

$$l_{\text{пов.}} = \frac{1}{x_2 - x_1}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (79)$$

Попередні витрати теплоносія:

$$L_{\text{пов}} = l_{\text{пов.}} \cdot G_{\text{вв}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (80)$$

Зміна вологовмісту теплоносія після спалювання палива:

$$\Delta x = \frac{l_{\text{в}}}{l_{\text{пов}}}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (81)$$

Вологовміст теплоносія на вході в сушарку:

$$x_1 = x_0 + \Delta x, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (82)$$

Тепловміст теплоносія на вході в сушарку:

$$i_1 = (1 + 1,96 \cdot x_1)t_1 + 2480 \cdot x_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (83)$$

Теплові втрати в сушарці, віднесені до 1 кг випаруваної вологи:

а) на нагрівання цеоліту:

$$q_{\text{м}} = \frac{G_{\text{п}} \cdot c_{\text{м}}}{G_{\text{вв}}} (\theta_2 - \theta_1), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

де  $c_{\text{м}}$  - теплоємність висушеного матеріалу (цеоліту),  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;

б) втрати в навколишнє середовище приймаємо в розмірі 10% від втрат теплоти на нагрівання матеріалу і теплоносія до температури сушіння:

$$q_{\text{втр.}} = 0,1(2480 + 1,96 \cdot \theta_2 + q_{\text{м}} - 1,96 \cdot \theta_1), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \quad (84)$$

в) сумарні питомі втрати:

$$\Delta = q_{\text{м}} + q_{\text{втр.}} - c_{\text{в}} \cdot \theta_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (85)$$

де  $c_{\text{в}}$  – теплоємність води,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Із системи рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta = \frac{i_1 - i_2}{x_2 - x_1}; \\ i_2 = (1 + 1,96 \cdot x_2)t_2 + 2480 \cdot x_2; \end{cases} \quad (86)$$

Вологовміст теплоносія на виході із сушарки:

$$x_2 = \frac{i_1 - x_1 \Delta - 1 \cdot t_2}{\Delta + 1,96 \cdot t_2 + 2480}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (87)$$

Перерахунок питомих витрат теплоносія:

$$l_{\text{пов.}} = \frac{1}{x_2 - x_0}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (88)$$

Загальні витрати повітря:

$$L_{\text{пов.}} = l_{\text{пов.}} \cdot G_{\text{вв}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (89)$$

або

$$V_{\text{пов.}} = \frac{L}{\rho_{\text{пов.}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (90)$$

де  $L_{\text{пов.}}$  – масові витрати,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ;

$V_{\text{пов.}}$  – об’ємні витрати,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ;

$\rho_{\text{пов.}}$  – густина повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Термічний коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{r \cdot G_{\text{вв}}}{Q + \Delta \cdot G_{\text{вв}}} \cdot 100\%, \quad (91)$$

де  $r$  – питома теплота пароутворення  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;

$G_{\text{вв}}$  – продуктивність за випаруваною вологою,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$Q$  – тепловий потік, необхідний для висушування цеоліту, кВт;

$\Delta$  – загальні питомі теплові втрати,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

#### 4.3.3. Кінетика процесу сушіння

Використовуючи результати досліджень процесу сушіння, а саме кінетичні закономірності, визначити час сушіння попередньо визначивши швидкість сушіння:

$$\frac{du}{d\tau} = tg\alpha = \frac{u_1 - u_{1\text{кр}}}{\tau_{1\text{кр}} - \tau_1}, \text{с}^{-1}, \quad (92)$$

де  $u_1$  – вологовміст цеоліту на початку першого періоду сушіння (сталого швидкості),  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;

$u_{1_{\text{кр}}}$  – вологовміст критичної точки на кінці першого періоду сушіння,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;

$\tau_1$  – час від початку сушіння до початку першого періоду сушіння, с;

$\tau_{1_{\text{кр}}}$  – час закінчення першого періоду сушіння, с.

Питомий тепловий потік:

$$q = \frac{du}{d\tau} \cdot \frac{4 \cdot r \cdot m_{\text{а.с.м.}}}{\pi \cdot d^2}, \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}, \quad (93)$$

де  $r$  – питома теплота пароутворення,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;

$m_{\text{а.с.м.}}$  – маса абсолютно сухого матеріалу (цеоліту), кг;

$d = 0,08$  м – діаметр робочої поверхні сушіння.

Визначення коефіцієнту тепловіддачі для сушарки:

$$\alpha = \frac{q}{t_1 - t_2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (94)$$

де  $t_1$  – температура теплоносія на вході в сушарку, °С;

$t_2$  – температура відпрацьованого теплоносія, °С.

Час сушіння визначаємо за експериментальними кривими сушіння для цеоліту фракції:

$$\tau_{\text{суш.}} = \tau_1 - \tau_2, \text{ с}, \quad (95)$$

де  $\tau_1$  і  $\tau_2$  – експериментальні відрізки часу з початку сушіння цеоліту, коли його вологість була 1% та 15% відповідно.

При цьому час сушіння дорівнює часу перебування:  $\tau_{\text{суш.}} = \tau_{\text{переб.}}$

#### 4.3.4. Гідродинамічний розрахунок

Критерій Архімеда при різних умовах визначається за формулою:

$$Ar = \frac{g d^3 \rho_{\text{п}} (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{п}})}{\mu_{\text{п}}^2}, \quad (96)$$

де  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  – прискорення вільного падіння;

$d$  – діаметр частинок, мм;

$\rho_{\text{п}}$  – густина повітря  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\rho_{\text{ТВ}}$  – густина цеоліту,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\mu_{\text{п}}$  – динамічна в'язкість повітря,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Швидкість руху теплоносія:

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}}, \quad (97)$$

$$v_0 = \frac{Re \cdot \nu}{d}, \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (98)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса;

$\varepsilon$  – порозність псевдозрідженого шару;

$\nu$  – швидкість руху теплоносія,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$\nu$  – кінематична в'язкість повітря,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ .

#### 4.3.5. Розрахунок основних розмірів апарату

Площа поперечного перерізу апарату по газорозподільчому пристрою:

$$S_1 = \frac{L_{\text{пов.}}}{v_p}, \text{м}^2, \quad (99)$$

де  $L_{\text{пов.}}$  – об'ємні витрати повітря,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ .

Висота псевдозрідженого шару:

$$H_{\text{ш}} = \frac{\tau_{\text{суш.}} \cdot G_{\text{к}}}{S_1 (1 - \varepsilon_p) \rho_{\text{ТВ.}}}, \text{м}, \quad (100)$$

де  $\tau_{\text{суш.}}$  – час сушіння, с;

$G_{\text{к}}$  – продуктивність за кінцевою вологістю цеоліту,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$\rho_{\text{ТВ.}}$  – густина цеоліту,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

#### 4.3.6. Розрахунок газорозподільчого пристрою

Живий переріз:

$$\psi = \sqrt{\frac{\xi_p \cdot \rho_{10}}{g \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \Delta H}}, \% \quad (101)$$

де  $\xi_p$  – коефіцієнт гідравлічного опору решітки (Додаток В);

$\rho_{\text{п}}$  – густина повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  – прискорення вільного падіння;

$\rho_{\text{нас}}$  – насипна густина цеоліту,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\Delta H$  – перепад висоти псевдозрідженого шару, м.

Переріз решітки:

$$S_p = S_1 \cdot \psi, \text{ м}^2. \quad (102)$$

Площа одного отвору:

$$F = B \cdot h, \text{ м}^2, \quad (103)$$

де  $B$  – ширина отвору, м;

$h$  – висота отвору, м.

Кількість отворів у газорозподільчій решітці:

$$n = \frac{S_p}{F}. \quad (104)$$

#### 4.3.7. Гідравлічний розрахунок

Гідравлічний опір газорозподільчої решітки

$$\Delta p_1 = \xi_p \frac{\rho_{\text{п}} \cdot v^2}{2\psi^2}, \text{ Па}. \quad (105)$$

Гідравлічний опір шару:

$$\Delta p_2 = \rho_{\text{тв.}} (1 - \varepsilon_p) g H_{\text{ш}}, \text{ Па}. \quad (106)$$

#### 4.3.8. Розрахунок на міцність зварного з'єднання днища дифузора

Площа перерізу зварного шва

$$F = \frac{1}{2} b^2, \text{ м}^2. \quad (107)$$

Сумарний гідравлічний опір:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2, \text{ Па}. \quad (108)$$

Площа днища:

$$F_d = L \cdot K, \text{ м}^2. \quad (109)$$

Довжина зварного шва:

$$l = 2(L + K), \text{ м.} \quad (110)$$

Розподілене лінійне навантаження:

$$q_l = \frac{\Delta p}{F_d \cdot l}, \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (111)$$

Напруження у зварному шві:

$$\sigma = \frac{q_l \cdot L}{F}, \text{ МПа.} \quad (112)$$

Перевірка умови міцності:

$$\sigma < [\sigma_p] \quad (113)$$

#### **4.3.9. Розрахунок газорозподільчої решітки на жорсткість**

Об'єм псевдозрідженого шару:

$$V = K \cdot L \cdot H_{\text{ш}}, \text{ м}^3. \quad (114)$$

Периметр робочої частини:

$$P = 2(L + K), \text{ м.} \quad (115)$$

Розподілене лінійне навантаження:

$$q_l = \frac{V \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot g}{P}, \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad (116)$$

де  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  – прискорення вільного падіння.

Момент інерції:

$$I = \frac{L \cdot s^3}{12}, \text{ м}^4. \quad (117)$$

Відносний прогин

$$f = \frac{q_l \cdot L^3}{2 \cdot E \cdot I}, \quad (118)$$

де  $E$  – модуль пружності, Па.

Момент інерції:

$$I = \frac{a \cdot h^3}{12}, \text{ м}^4. \quad (119)$$

Відносний прогин для однієї комірки

$$f = \frac{q_l \cdot L^3}{2 \cdot E \cdot I}. \quad (120)$$

#### **4.4.Рекомендації щодо впровадження апарату для сушіння цеоліту**

В початковий період виходу цеоліту на ринок наповнювачів паперу та картону, доцільно виробляти на машинах малої продуктивності (1 т/год). На таких машинах повний цикл сушіння перспективно здійснювати в апаратах псевдозрізженого шару для сушіння цеоліту.

На апаратах для сушіння цеоліту продуктивністю більше 1 т/год доцільно використовувати газорозподільчий пристрій, що створює фонтануючі потоки.

#### **4.5.Висновки**

На основі результатів дослідження розроблено алгоритм розрахунку та складено методику розрахунку промислового апарату для сушіння цеоліту.

Запропоновано рекомендації до впровадження апарату для сушіння цеоліту.



## 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1.Опис ідеї проекту

Природний цеоліт – це мінерал, який, при правильній обробці, може поглинати широкий спектр речовин. На сьогоднішній день цеоліти застосовуються в якості наповнювачів тарного картону, писального паперу, а також, у фільтрах для тонкої очистки води в якості іонообмінників з властивостями молекулярного сита. Тарний картон із цеолітом, дозволяє довше зберігати продукти. Цеоліт поглинає кисень та воду із виділенням азоту і утримує їх на постійному рівні. При очищенні води позбавляє воду від шкідливих речовин, залишаючи іони корисних мінералів.

Також застосовується в біологічно активних добавках. При сушінні за температури вище 400 градусів Цельсія до 0 або 1 відсотка вологості, цеоліт набуває високої активності та високої ємності (статична ємність до 0,418 кг/кг для води).

При цьому собівартість його значно нижча ніж в синтетичних сорбентів. В природному стані він містить вологу, яка займає його пори розміром 7-9 Ангстрем. Необхідно дослідити процес сушіння та розробити апарат, який в подальшому буде виготовлено. Запатентувати розробку та застосовувати її в подальшому.

У таблиці 5 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий вид сорбенту	Ринок сорбентів	Якісне очищення рідин, газів; можливість використання у фармацевтиці
	Ринок наповнювачів для пакувального картону	У 2 рази довший термін зберігання натуральних продуктів

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів:

- досліджено процес сушіння (активації) цеоліту – сорбенту широкого спектру застосування – є можливість для розширення портфелю та відкриття нових ринків;
- цеоліт на ринку сорбентів здатний витіснити активоване вугілля завдяки більшій ємкості та селективній дії;
- можливість комбінації з різними вилами виробництва з використанням цеоліту в якості наповнювача, іонізатора, зневоднювача, регулятора вологості і т.д.

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності

Таблиця 6 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
Вартість цеоліту	18	60	150	250	-	-	+
Швидкість виготовлення	0,8	1	1	1	-	-	+
Витрати теплоносія (енергії)	1500	240	300	400	+	-	-
Металоємність конструкції	313	5700	4000	4500	-	-	+
Продуктивність	0,183	0,083	0,097	0,01	-	-	+

## 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології [26], за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (таблиця 7).

Таблиця 7 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях сушіння цеоліту	Сушіння цеоліту в барабанних сушарках	Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Відкритий доступ
2	Шлях сушіння цеоліту	Сушіння цеоліту в апараті псевдозрідженого шару	Дані технології не існують, але до цього часу майже не використовувались	Закритий доступ
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1 – Сушіння цеоліту в апараті псевдозрідженого шару.				

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити – є можливим.

## 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяють спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 8).

Таблиця 8 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	2
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	11000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ на якість цеоліту
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	78

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням [27].



Рисунок 40 – Динаміка ринку тарного картону [28, 29]



Рисунок 41 – Динаміка ринку фільтрів для води [30, 31, 32]

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів [33], їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 9).

Таблиця 9 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в сорбенті широкого спектру з високою ємкістю (Суспільство змінюється в напрямку соціально-відповідального та здорового способу життя. Стає модним споживати продукцію, що не має екодеструктивного впливу та є безпечною для людини.)	Компанії, які займаються цеолітами в Україні: «Цеоліт-Біо», Закарпатський цеолітовий завод, фармацевтичні, водоочисні, пакувальні компанії.	Необхідність відповідності продукції, що виготовляється/використовується нашою цільовою аудиторією у процесах виробництва їх товарів і послуг, ДСТУ, ГОСТ на якість цеоліту	<u>до продукції:</u> якість (при виготовленні пакування використані лише якісні іноземні матеріали - целюлоза), екологічність <u>до компанії-постачальника:</u> якість постачання, швидкість, доступність.

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблицю факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів [34], що йому перешкоджають (табл. 10, 11).

Таблиця 10 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Демографічний: - Зменшення народжуваності і збільшення смертності та захворюваності населення	Поява сильних конкурентів	Наголошення на екологічності та ефективності продукції шляхом розповсюдження реклами в ЗМІ
Соціо-культурні: - Створення легенд довкола нашої продукції або продукції конкурентів	Створення негативної репутації для нас, або позитивної для конкурентів	Правильне використання зворотного зв'язку з клієнтами та публічне висвітлення реальних фактів, які будуть спростовувати непотрібні легенди
Природні: - Вичерпання природних ресурсів	Зменшення продуктивності та рівню продажу	Використання нових технологій з метою заміни існуючих природних цеолітів синтетичними із такими самими або кращими властивостями

Таблиця 11 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні: - Виставки та конференції	Демонстрація свого та вивчення чужого наукового потенціалу	Виставлення лише запатентованих розробок
Економічні - Криза	Відсутність конкурентів	Орієнтація на суміжні проекти
Політико-правового середовища: - Сертифікація	Використання отриманих сертифікатів як конкурентної переваги	Пошук та застосування шляхів пришвидшення отримання всіх необхідних сертифікатів (міжнародного рівня) заздалегідь та пошук можливості своєчасного продовження дії сертифікатів

Таблиця 12 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1. Тип конкуренції: олігополія	Декілька виробників контролюють основну його частину	Проявити себе сильною компанією (новітні технології, якісна продукція)
2. Рівень конкурентної боротьби: міжнародний)	Невелика кількість виробників та високий попит на міжнародному рівні	Швидке та ефективне спрямування як на державний, так і на іноземний ринок
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Області застосування продукції різноманітні	Створення суміжних проектів та реалізація всіх можливих напрямків
4. Конкуренція за видами товарів: - між бажаннями	Цеоліт – лише проміжний товар, який може застосовуватись дуже широко	Відстежувати тенденції ринку та бажання споживачів щодо застосування товару (від побутового до промислового)
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Екологія, вирішення побутових та промислових проблем, висока якість продукції	Розумне проявлення конкурентних ознак продукції
6. За інтенсивністю - не марочна	Не має певного бренду	Створення правильної репутації та її підтримання

#### 5.4. Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера таблиця 13).

Таблиця 13 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ЗЦЗ, Цеоліт-Біо, Полукс	Нездорова конкуренція, корупція	Нова пошта, DHL	Якість, кількість та ціна	Соціо-культурні
Висновки:	Низька інтенсивність боротьби на державному та висока на міжнародному ринках	Високі можливості виходу на державний, та середньої складності на міжнародний потенційний конкурент – Цеоліт-Біо 3-6 місяців	Постачальники не диктують жодних умов.	Висока диференціальність продукції	Наявність синтетичних цеолітів – робота в цьому напрямку (виготовлення синтетичних цеолітів)

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 5.7, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 7 та 10), вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності

Таблиця 14 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Технології	Збільшення якості продукції з одночасним зменшенням собівартості продукції за рахунок новітнього обладнання
2	Поле застосування продукції	Розробка широкого портфелю продукції
3	Фінансова стабільність	Надання інжинірингових послуг (додатковий прибуток)
4	Адаптивність до умов ринку	Можливість нових розробок через наявність наукового центру в компанії
5	Обізнаність	Вивчення нової інформації 24/7
6	Репутація	З обережністю та оперативністю виконувати необхідні зходи для створення првилльної репутації, заручення підтримкою

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 14) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 15).



Таблиця 15 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Spectrum-Zeo»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Spectrum-Zeo»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Технології	20	*	**					
2	Поле застосування продукції	20			*		**		
3	Фінансова стабільність	15			**		*		
4	Адаптивність до умов ринку	20	**	*					
5	Обізнаність	20		*			*	*	
6	Репутація	20			*		**		

Сильними сторонами «Spectrum-Zeo» є технології, широке поле застосування продукції, адаптивність до умов ринку та обізнаність. До слабких сторін входить фінансова стабільність та репутація (її нема).

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін [35].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 16 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<b>Сильні сторони</b>	<b>Слабкі сторони</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- наукова новизна</li> <li>- обізнаність у всіх сегментах діяльності</li> <li>- мобільність компанії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- залучення великої кількості кваліфікованих працівників</li> <li>- необхідність додаткового фінансування пошуку інформації</li> </ul>
<b>Можливості</b>	<b>Загрози</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- стати провідною компанією з великим потенціалом</li> <li>- задання нових трендів</li> <li>- захищеність від зовнішнього впливу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- конкуренція (брудні прийоми)</li> <li>- великий опір</li> </ul>

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок [36].

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 17).

Таблиця 17 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>
1	Надання інжинірингових послуг: маючи сильну конструкторську та наукову базу надавати послуги з розробки обладнання та пристроїв, дослідження процесів та їх реалізації	Висока, оскільки ресурси, що необхідні для реалізації є ресурсами першого стартап-проекту
2	Виготовлення продукції, які міститимуть продукт з першого стартап- проекту - цеоліт	Середня, оскільки це по суті є розширення портфелю продукції першого стартап-проекту

Після аналізу обираємо альтернативу Надання інжинірингових послуг.

### **5.5.Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту**

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку [37]: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 18).

Таблиця 18 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Побутове використання фільтрів для води (мережі супермаркетів та інтернет-магазини)	80%	Високий	Низька	Висока
2	Промислове пакування для продуктів (компанії з постачання продуктів харчування)	100%	Високий	Низька	Висока
3	Побутові поглиначі вологи та запаху (мережі супермаркетів)	70%	Високий	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: всі					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо операторів ринку харчових продуктів (виробник, продавець (постачальник), який здійснює діяльність щодо виробництва, транспортування, зберігання та реалізації харчових продуктів), і використовуємо стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку [38] необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 19).

Таблиця 19 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ п/п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентос- проможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Побутове викори- стання фільтрів для води	Стратегія спеціалізації	Висока якість	Інтегративне зростання
2	Промислове паку- вання для продук- тів	Стратегія ди- ференціації	Новизна на ринку, ви- сока якість	Інтегративне зростання
3	Побутові поглиначі вологи та запаху	Стратегія ди- ференціації	Новизна на ринку	Інтенсивне зростання

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця. 20).

Таблиця 20 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першо- прохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових спо- живачів, або заби- рати існуючих у кон- курентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати ос- новні характери- стики товару конку- рента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	-	Існуючі та нові	Загальну струк- туру фільтрів	Розширення пер- винного попиту
2	+	Існуючі	Форму пакування	Розширення пер- винного попиту
3	+	Нові	-	Наступальна

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 20) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 21). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 21 – Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару ці- льової ауди- торії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентос- проможні позиції власного стартапро- екту</i>	<i>Вибір асоціацій, які ма- ють сформувавши ком- плексну позицію влас- ного проекту (три ключ- ових)</i>
1	Висока якість (довгий термін ви- користання, смак води після очи- щення)	Інтегративне зростання	Висока якість (можли- вість регенерації фі- трів – послуга; іоніза- ція та мінералізація води, збагачення кис- нем)	Очищення, гарантія якості, надійність
2	Висока якість (до- стат, деше- визна	Інтегративне зростання	Новизна на ринку, ви- сока якість	Довготривалість збері- гання, екологічність, ви- сока якість
3	Висока якість	Інтенсивне зростання	Новизна на ринку, ви- сока якість	Високий ступінь погли- нання, приємний ди- зайн, висока якість

## 5.6. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування *маркетингової концепції товару*, який отри-  
має споживач. Для цього у таблиці 5.16 підсумовуємо результати попереднього  
аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 22 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конку- рентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Висока якість пит- ної води	Висока якість питної води	Висока якість фільтрів (широ- кий спектр речовин, які погли- наються; селективна)
2	Якомога більший строк зберігання продукції всередині пакування	В 1,5-2 рази більший строк зберігання продукції без додат- кової обробки	В 1,5-2 рази більший строк зберігання продукції без до- даткової обробки, поглинання кисню та вологи з виділенням азоту
3	Позбавлення від неприємних запахів протягом довгого часу	Ефективне позбав- лення від неприємних запахів протягом 2-3 тижнів	Ефективне позбавлення від неприємних запахів протягом 2-3 тижнів, можливість по- вторного використання (надання послуг з регенерації)

Надалі розробляється трирівнева модель товару

Таблиця 23 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Фільтр для питної води, що містить цеоліт – забезпечує високу якість питної води		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Селективна дія		
	2. Токне очищення		
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакування		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу (продаж наповнювача для фільтрів, послуги з регенерації, продаж наповнювача для тарного картону, продаж наповнювача для поглиначів запаху/вологи, послуги з регенерації погиначів)		
	Після продажу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за допомогою своєчасного патентування обладнання та способу виготовлення.			

Апарат псевдозрідженого шару для сушіння цеоліту захищено патентом України на корисну модель №115491, та продано ліцензію №Л/17-11 від 18.12.2017 на використання об'єкту прав інтелектуальної власності.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 24). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 24 – Визначення меж встановлення ціни

№ n/n	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	В залежності від розміру фільтрів для очищення води, вартість виготовлення варіюється від 50 до 1000 грн/шт.	В залежності від розміру фільтрів для очищення води, ціна варіюється від 50 до 25000 грн/шт.	Середній та високий клас населення. Більш дорогі фільтри будуть купуватись на довший термін використання, а дешевші будуть для короткострокового використання.	Верхня межа 2000 грн/шт. Нижня межа 70 грн/шт. Необхідно більш забезпеченим шарам населення показати альтернативу за низькою ціною та привернути увагу, а перед середнім класом позиціонуватись із високою якістю, та можливістю надання послуг з регенерації фільтрів для повторного використання, що може стати основним видом доходу з малих фільтрів
2	Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 40-95 грн/кг	Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 30-80 грн/кг	Промисловий ринок залежить від замовлення товару	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів
3	Відповідно до фракційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 30-60 грн/кг	Відповідно до фракційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 40-70 грн/кг	Середній та високий клас населення.	Ціна значно нижча, ніж в існуючих конкурентів: верхня межа 100 грн/шт; нижня 40 грн/шт. Також можливе надання послуг з регенерації та повторного використання.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 25).

Таблиця 25 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка за- купівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина ка- налу збуту	Оптимальна система збуту
1	Роздрібна та оптова закупі- вля	Якість товару, сере- дній рівень асортименту нашого товару, потрібні характеристики, промоція	Помірно гли- бока 4 мережі супермаркетів, 20 роздрібних мереж, 2 інтернет-магазини	Магазини побутових товарів, спеціалізовані магазини
2	Закупівля оптом	Якість товару, потрібні вимоги до характеристик	Досить глибока 5 поліграфічних підприємств, 3 картоноробних, 4 інтернет-магазини	Виробником картону (контрактне виробництво) на поліграфічні виробництва з виготовлення пакування
3	Роздрібна закупівля	Якість товару, високий рівень асортименту нашого товару, потрібні характеристики, промоція	Поверхнева 1-2 мережі супермаркетів, 50 роздрібних мереж	Магазини побутових товарів, спеціалізовані магазини

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту)

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 26).



Таблиця 26 – Концепція маркетингових комунікацій

№ n/n	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для пози- ціонування
1	Орієнтована на викорис- тання широкої масової кому- нікації безпосередньо з кори- стувачем та підтримання по- стійного зворотного зв'язку, можливо клієнти матимуть на клубне членство та дис- кретні програми	ЗМІ, інтернет, виста- вки промислові (щорічні, раз на 4 роки, міжнародні, національні), друкована продукція	ЗМІ та інтернет (сильна рекламна кампанія) – промо- ція в соц. мережах
2	Орієнтована на використання вузь- коспеціальної комунікації, що визначається особ- ливістю галузевих принасле- жностей	Інтернет, виставки (екологічного на- пряму), семінари, друкована продукція	Спеціалізовані виставки
3	Орієнтована на викорис- тання широкої масової кому- нікації безпосередньо з кори- стувачем та підтримання по- стійного зворотного зв'язку	ЗМІ, інтернет, виста- вки, друкована про- дукція	ЗМІ та інтернет (помірна рекламна кампанія в Google)

Результатом пункту 5.6 створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

### 5.7.Висновки

В процесі розробки стартап проекту «Spectrum-Zeo» було отримано висновки, що можлива ефективна ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою в якісних фільтрах для води, сучасному екологічно-читому пакуванні, яке дозволить повноцінно замі-

нити синтетичні матеріали, потреба в побутовому та промисловому використанні сорбентів і т. д.. Спроможність стартап проекту дозволяє стверджувати про перспективи створення та розвитку стартапу.

## ВИСНОВКИ

1. На основі результатів аналізу літературних джерел і патентних матеріалів сформульовано мету і задачі дослідження процесу сушіння цеоліту.
2. Обґрунтована фізична модель процесу сушіння цеоліту.
3. Розроблено та розв'язано математичну модель процесу сушіння цеоліту.
4. На основі результатів розв'язку математичної моделі отримані теоретичні графічні кінетичні закономірності процесу сушіння цеоліту.
5. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень кінетичних залежностей процесу сушіння цеоліту.
6. Разработана лабораторная установка для проведения исследований кинетических закономерностей процесса сушки цеолита, определены величины погрешностей результатов экспериментальных исследований..
7. Впервые получено математическая зависимость влагосодержания и температуры цеолита при сушке. Проверено адекватность математической модели расчетом критерия Фишера соответственно результатам экспериментальных исследований.
8. Усовершенствовано и подготовлено к исследованию лабораторную установку.
9. Впервые получены кинетические закономерности и основные параметры процесса сушіння цеолита.
10. Получены гидравлические характеристики газораспределительного устройства аппарата псевдоожиженного слоя.
11. Разработано стартап-проект.
12. Магістерська дисертація виконана згідно наукового плану кафедри МАХНВ. По темі дисертації опубліковано 2 статті у фахових виданнях, 4 тез доповідей на міжнародних конференціях, отримано патент України на корисну модель №115491, продано ліцензію №Л/17-11 від 18.12.2017 на використання об'єкту прав інтелектуальної власності.

## ВЫВОДЫ

1. На основе результатов анализа литературных источников и патентных материалов сформулировано цель и задачи исследования процесса сушки цеолита.
2. Обоснована физическая модель процесса сушки цеолита.
3. Разработано и решено математическое описание процесса сушки цеолита.
4. На основе результатов решения математической модели получены теоретические графические кинетические закономерности процесса сушки цеолита.
5. Разработана методика проведения экспериментальных исследований кинетических зависимостей процесса сушки цеолита.
6. Разработана лабораторная установка для проведения исследований кинетических закономерностей процесса сушки цеолита, определены величины погрешностей результатов экспериментальных исследований..
7. Впервые получено математическая зависимость влагосодержания и температуры цеолита при сушке. Проверено адекватность математической модели расчетом критерия Фишера соответственно результатам экспериментальных исследований.
8. Усовершенствовано и подготовлено к исследованию лабораторную установку.
9. Впервые получены кинетические закономерности и основные параметры процесса сушки цеолита.
10. Получены гидравлические характеристики газораспределительного устройства аппарата псевдоожиженного слоя.
11. Разработано стартап-проект.
12. Магистерская диссертация выполнена согласно научного плана кафедры МАХНВ. По теме диссертации опубликовано 2 статьи в специализированных изданиях, 4 тезиса доклада на международной конференции, получено патент Украины на полезную модель №115491, продано лицензию №Л/17-11 від 18.12.2017 на использование объекта права интеллектуальной собственности.

## CONCLUSIONS

1. On the basis of the analysis of literary sources and patent materials, the goal and objectives of the study of the zeolite drying process were formulated.
2. The physical model of the zeolite drying process is substantiated.
3. A mathematical description of the zeolite drying process has been developed and solved.
4. At the basis of the solution of the mathematical model, theoretical graphical kinetic regularities of the process of drying of the zeolite were obtained.
5. A technique has been developed for conducting experimental studies of the kinetic dependences of the drying process of a zeolite.
6. A laboratory setup has been developed for conducting research on the kinetic regularities of the zeolite drying process, the magnitudes of the errors in the results of experimental studies are determined.
7. For the first time, a mathematical dependence of the moisture content and temperature of the zeolite during drying was obtained. The adequacy of the mathematical model was verified by calculating the Fisher criterion according to the results of experimental studies.
8. Improved and prepared for research laboratory installation.
9. For the first time, the kinetic regularities and basis parameters of the zeolite cross-linking process were obtained.
10. The hydraulic characteristics of the gas distribution device of the fluidized bed apparatus were obtained.
11. Developed a startup project.
12. The master thesis was done according to the scientific plan of the Department of MAHNV. After the dissertation, 2 articles were published in specialized editions, 4 theses of the report at an international conference, received a patent of Ukraine for utility model No. 115491, sold the license number L/17-11 from December 18, 2017 to use the object of intellectual property.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] «Цеолит природный,» [Онлайновий]. Available: <https://www.zeolite.com.ua/>. [Дата звернення: 12 травня 2019 р.].
- [2] «Zeolite Crystal Growth,» NASA Space Station Research Explorer, [Онлайновий]. Available: <https://www.nasa.gov/>. [Дата звернення: 12 травня 2019 р.].
- [3] «ПРИРОДНЫЙ ЦЕОЛИТ «СОКИРНИТ»,» ГК «Цеолитовые технологии», [В Інтернеті]. Available: <http://zeomix.ru/>. [Дата звернення: 13 травня 2019].
- [4] Мікульонюк І.О, Ракицький В.Л. та Герич О.С, «Апарат псевдозрідженого шару». Україна, МПК (2006.01) B01J 8/18, F26B 17/10, B01J 2/16 Патент UA 75576 U, 10 грудня 2012.
- [5] Корнієно Я.М., Магазій П.М., Мікульонюк О.І. та Філінков А.С., «Газорозподільна решітка апарата псевдозрідженого шару». Україна, МПК (2006.01) B01J 8/18, B01J 2/00 Патент UA 27815 U, 12 листопада 2007.
- [6] Мікульонюк І.О., «Розподільна решітка апарата псевдозрідженого шару». Україна, МПК (2006.01) B01J 8/24 Патент UA 28579 U, 10 грудня 2007.
- [7] Morgens a Christensen (DEN) and Benny H. Madsen (DEN), "Fluid bed apparatus, a bed plate therefore, and a method of making a bed plate". USA, Int.Cl. F26B 3/08 Patent US 5839207, 24 november 1998.
- [8] Antonius Johannes Maria Bourman (NL), "Fluidizing base, method for the production thereof and associated fluidizing device". USA, Int.Cl. B01J 8/44, F26B 3/08, B23K 26/38, B23K 15/08 Patent US 0260596, 22 december 2005.

- [9] «Мельница мокрого самоизмельчения типа "Каскад",» LIMING HEAVY INDUSTRY, [В Интернете]. Available: <https://www.jensstudio.nl>. [Дата обращения: 13 травня 2019].
- [10] «ZSG-20 цеолит кольцевая сушилка», Shinma, [В Интернете]. Available: <https://russian.alibaba.com>. [Дата обращения: 13 травня 2012].
- [11] Лыков А.В., Теория сушки, М.: Энергия, 1968. 472 с., ил.
- [12] Фролов В.Ф., Моделирование сушки дисперсных материалов, Л.: Химия, 1987. - 208 с., ил.
- [13] V. Marchevsky and O. Novokhat, "Kinetics of corrugated board flute drying with the use of infrared radiation," *The Advanced Science Journal*, no. 6, pp. 69-72, 2015.
- [14] A. Karavatskii, V. Marhesky and O. Novokhat, "Numerical modeling of physical fields in the process of drying of paper for corrugating by the infrared radiation," *Eastern-European journal of enterprise technologies*, vol. 2, no. 5(86), pp. 14-22, 2017.
- [15] Муштаев В.И., Ульянов В.М. и Тимонин А.С., Сушка в условиях пневмотранспорта, М.: Химия, 1984. – 232 с., ил.
- [16] «Water - Heat Capasity (Specific Heat),» Engineering ToolBox, 2004. [В Интернете]. Available: <https://www.engineeringtoolbox.com/>. [Дата обращения: 15 травня 2019].
- [17] Sondre Kvalvåg Schnell, Molecular Simulations of Zeolites: Heterogeneous Systems at Equilibrium and Non-Equilibrium, Kristiansund: CPI-Wöhrmann Print Service – Zutphen, 2013.
- [18] Martin Chaplin, «Explanation of the Thermodynamic Anomalies of Water,» [В Интернете]. Available: <http://www1.lsbu.ac.uk>. [Дата обращения: 15 травня 2019].
- [19] Hongyu Huang, Seiya Ito, Fujio Watanabe, Masanobu Hasatani and Noriyuki Kobayashi, "Microwave Irradiation Effect in Water-vapor Desorption from

- Zeolites," July 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/>. [Accessed 15 травня 2019].
- [20] Марчевський В.М., Новохат О.А. та Маргарян А.А., «Моделювання процесу сушіння цеоліту,» *Інтернаука*, № 8 (70), 2019.
- [21] V. Marchevsky, O. Novokhat and O. Tsepkalo, "Paper drying process for corrugation (fluting) using radiant energy," *Ukrainian Journal of Food Science*, no. 2, pp. 310-321, 2015.
- [22] Марчевський В. М., Новохат О. А. та Телестакова В. В., «Кінетичні закономірності сушіння картону, наповненого цеолітом,» *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*, № 8, 2018.
- [23] Marchevsky V., Novokhat O. and Margarian A., "Analysis of the research results of zeolite drying process," *Technology audit and production reserves*, no. 1/3 (45), pp. 21-23, 2019.
- [24] Пилипчук М.І., Григор'єв А.С. та Шостак В.В., *Основи наукових досліджень: Підручник*, К.: Знання, 2007. - 270 с.
- [25] Павлов К.Ф., Романков П.Г. и Носков А.А., *Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов*, Л.: Химия, 1987, р. 576 с.
- [26] О.А. Гавриш, «Розроблення стартап-проекту: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей,» НТУУ "КПІ", Київ, 2016. – 28 с.
- [27] С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова та Н. В. Язвінська, «Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр»,» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2019.
- [28] «Світовий огляд пакувальних матеріалів для харчових продуктів на основі цеолітів,» *ТРАЕКТОРІЯ НАУКИ. Міжнародний електронний науковий журнал*, т. 2, № 11, 2016.



- [29] Г.М. Куделіна, Ринок споживчої тари з паперу та картону в Україні та можливі методи його структурування., Донецьк: Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2013.
- [30] А.М. Вакуліч, В.П. Колесніков та В.В. Журавель, «РИНОК БІОУПАКОВКИ: ФАКТОРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ,» *Європейський вектор економічного розвитку*, № 1(14), 2013.
- [31] «Обзор рынка. Перспективные фильтры для воды.,» Reifeisen BANK AVAL, 2017 февраля 2. [В Интернете]. Available: <https://msb.aval.ua>. [Дата обращения: 2019 мая 20].
- [32] МАКСИМ БИРОВАШ, «Доход чистой воды,» *Forbes*, № 4, 2015.
- [33] М. З. Згуровський, «Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти,» НТУУ «КПІ», Київ, 2015.
- [34] Yudina N.V., "Methods of the Startup-Project Developing Based on 'the Four-Dimensional Thinking' in Information Society," *Marketing and Management of innovations*, no. 3, pp. 245-256, 2017.
- [35] Юдіна Н.В., «Міждисциплінарні платформи стартап-проектів,» Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез», Київ, 2017.
- [36] Юдіна Н. В., «Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників,» *Економічний Вісник НТУУ «КПІ»*, № 13, 2016.
- [37] Юдіна Н.В., «Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку,» *Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, pp. 124-127, 15-17 грудня 2015.

- [38] Юдіна Н. В., ««Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації,» *Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф.*, 25 листопада 2016.

## **Додаток А. Розв'язок математичної моделі**

$$T := 283.15 \quad w := 0.226 \quad u := \frac{w}{1-w} = 0.292 \quad \tau := 0$$


---

$$\lambda_w(T) := 5 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.0072 \cdot T - 0.6386$$

$$\lambda_z := 0.14$$

$$\lambda(u) := \lambda_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + \lambda_z \cdot \frac{1}{1+u} \quad \lambda(u) = 0.269$$

$$k_f := 0.67$$

$$r(T) := -0.03264 \cdot T^3 + 33.63 \cdot T^2 - 13970 \cdot T + 4478300$$

$$r(T) = 2.478 \times 10^6$$

$$\rho_z := 2410$$

$$c_w(T) := 2 \cdot 10^{-11} \cdot T^6 - 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 - 0.0248 \cdot T^3 + 7.4407 \cdot T^2 - T + 82469$$

$$c_z := 830$$

$$c(u) := c_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + c_z \cdot \frac{1}{1+u}$$

$$c(u) = 8.12 \times 10^4$$

$$R_{\max} := 0.001$$

$$F := 4 \cdot \pi \cdot R_{\max}^2 = 1.257 \times 10^{-5}$$

$$p_s := 47410$$

$$\varphi := 0.4$$

$$p_p := p_s \cdot \varphi = 1.896 \times 10^4$$

$$\beta := 0.0038$$

$$k := 0.00187 \quad u_p := 0.001$$

$$u(u_0, u_1, \tau, k_1, k_2) := u_0 - k_1 \cdot \beta \cdot F \cdot (p_s - p_p) \cdot \tau - k_2 \cdot k \cdot (u_1 - u_p) \cdot \tau$$

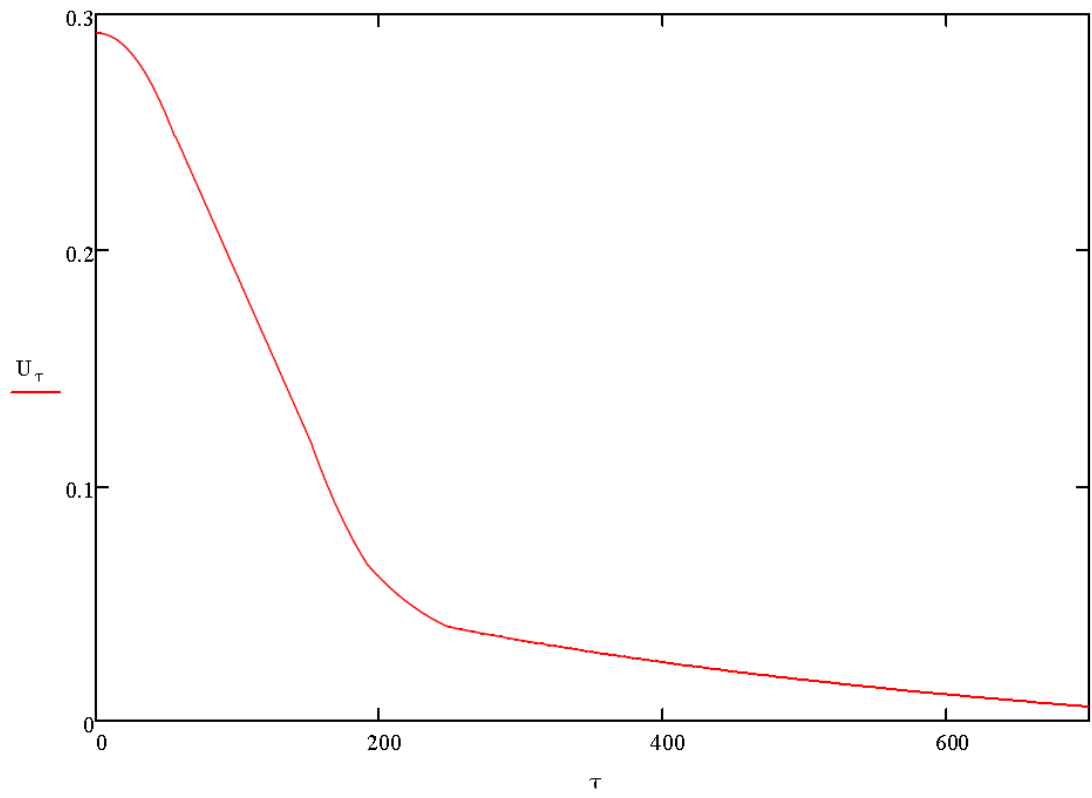
```

U :=
  U0 ←  $\frac{w}{1-w}$ 
  k1 ← 0.5
  k2 ← -1.25
  for τ ∈ 1..700
    if Uτ-1 ≥ 0.25
      if k2 < 0
        k2 ← k2 + 0.0125
        k1 ← k1 + 0.005
      Uτ ← u(U0, Uτ-1, τ, k1, k2)
      U
    if Uτ-1 ≥ 0.12 ∧ Uτ-1 < 0.25
      Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, 1, 0)
      k2 ← 0
      k1 ← 1
      U
    if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
      k2 ← k2 + 0.025 if k2 < 1
      k1 ← k1 - 0.0025 if k1 > 0.4
      k2 ← k2 + 0.01 if k2 ≥ 1 ∧ k2 < 10
      k1 ← k1 - 0.05 if k1 ≤ 0.4 ∧ k1 > 0
      Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, k1, k2)
      u0 ← 0.058
      U
    if Uτ-1 < 0.04
      u0 ← u0 - 0.0001
      Uτ ← u(u0, Uτ-1, τ, 0, 1)
      U
  U

```

τ := 0..700

	0
0	0.292
1	0.292
2	0.292
3	0.292
4	0.292
5	0.292
6	0.292
7	0.291
8	0.291
9	0.291
10	0.291
11	0.29
12	0.29
13	0.29
14	0.289
15	...



$$T_a \coloneqq 473.15$$

$$b \coloneqq 20$$

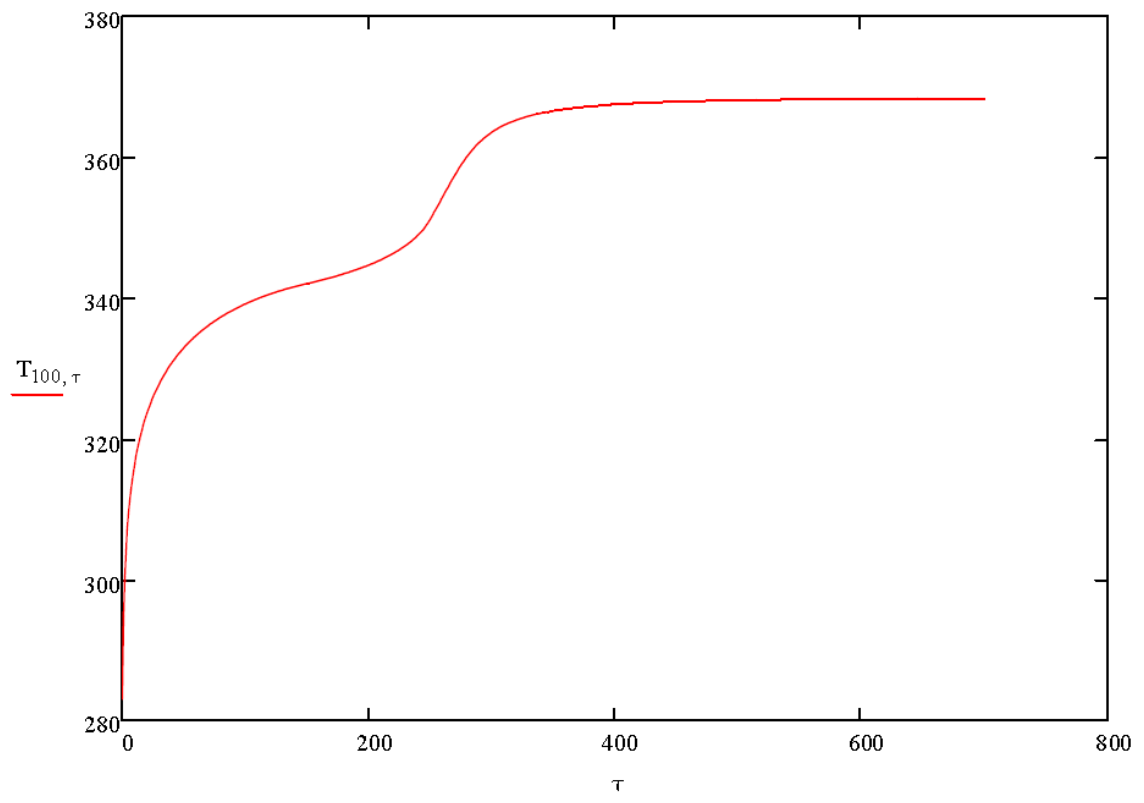
$$t(t_0,R,\tau,\lambda,c,k_1,k_2) \coloneqq t_0 + \frac{\rho_Z \cdot r(T_a) \cdot U_\tau \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2}{b \left(\pi^2 + 2\pi\right) \left[ k_1 \cdot 2\lambda \cdot k_F \cdot \tau - k_2 \cdot c \cdot \rho_Z \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2 \right]}$$

```

T := for R ∈ 0..100
    TR,0 ← 283.15
    k1 ← 1
    k2 ← 0
    for τ ∈ 1..700
        λ(u) ← λw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + λz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        c(u) ← cw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + cz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        if Uτ-1 ≥ 0.12
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        dif ← 0.01
        if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
            k2 ← k2 + dif if k2 < 1
            k1 ← k1 - 0.002 if k1 > 0
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        if Uτ-1 < 0.04
            k2 ← k2 + dif
            q ← 0
            if k1 > 0
                q ← q + 0.001
                k1 ← k1 + 0.002 + q
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            TR,τ ← TR,τ-1 + 0.01 if TR,τ < TR,τ-1
            T
    T
R := 0..100

```

	0	1	2	3	4	5	6
0	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15
1	283.15	283.151	283.152	283.152	283.152	283.153	283.153
2	283.15	283.155	283.157	283.159	283.16	283.161	283.161
3	283.15	283.161	283.166	283.169	283.172	283.174	283.176
4	283.15	283.169	283.178	283.184	283.189	283.193	283.196
5	283.15	283.179	283.194	283.204	283.211	283.217	283.222
6	283.15	283.192	283.213	283.227	283.238	283.246	283.253
7	283.15	283.207	283.236	283.255	283.27	283.281	283.291
8	283.15	283.225	283.262	283.287	283.306	283.321	283.334
9	283.15	283.245	283.292	283.324	283.348	283.367	283.382
10	283.15	283.267	283.326	283.365	283.394	283.417	283.437
11	283.15	283.292	283.363	283.41	283.445	283.473	283.497
12	283.15	283.319	283.403	283.459	283.501	283.535	283.563
13	283.15	283.348	283.447	283.513	283.562	283.602	283.635
14	283.15	283.38	283.494	283.571	283.628	283.674	283.712
15	283.15	283.414	283.545	283.633	283.699	283.751	...





$$T := 283.15 \quad w := 0.226 \quad u := \frac{w}{1-w} = 0.292 \quad \tau := 0$$


---

$$\lambda_w(T) := 5 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.0072 \cdot T - 0.6386$$

$$\lambda_z := 0.14$$

$$\lambda(u) := \lambda_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + \lambda_z \cdot \frac{1}{1+u} \quad \lambda(u) = 0.269$$

$$k_F := 0.67$$

$$r(T) := -0.03264 \cdot T^3 + 33.63 \cdot T^2 - 13970 \cdot T + 4478300$$

$$r(T) = 2.478 \times 10^6$$

$$\rho_z := 2410$$

$$c_w(T) := 2 \cdot 10^{-11} \cdot T^6 - 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 - 0.0248 \cdot T^3 + 7.4407 \cdot T^2 - T + 82469$$

$$c_z := 830$$

$$c(u) := c_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + c_z \cdot \frac{1}{1+u}$$

$$c(u) = 8.12 \times 10^4$$

$$R_{\max} := 0.001$$

$$F := 4 \cdot \pi \cdot R_{\max}^2 = 1.257 \times 10^{-5}$$

$$p_s := 101420$$

$$\varphi := 0.05$$

$$p_p := p_s \cdot \varphi = 5.071 \times 10^3$$

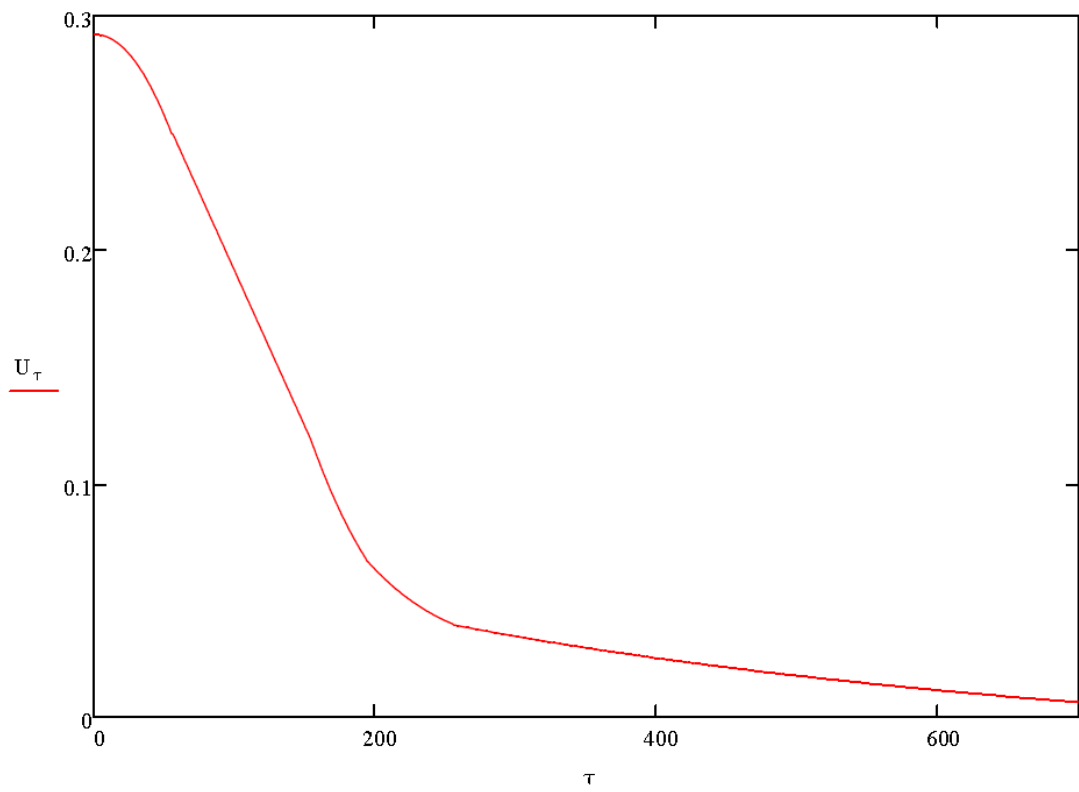
$$\beta := 0.0011$$

$$k := 0.00187 \quad u_p := 0.001$$

$$u(u_0, u_i, \tau, k_1, k_2) := u_0 - k_1 \cdot \beta \cdot F \cdot (p_s - p_p) \cdot \tau - k_2 \cdot k \cdot (u_i - u_p) \cdot \tau$$

$$\begin{aligned}
 U &:= \left| \begin{array}{l}
 U_0 \leftarrow \frac{w}{1-w} \\
 k_1 \leftarrow 0.5 \\
 k_2 \leftarrow -1.25 \\
 \text{for } \tau \in 1..700 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{if } U_{\tau-1} \geq 0.25 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{if } k_2 < 0 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 k_2 \leftarrow k_2 + 0.0125 \\
 k_1 \leftarrow k_1 + 0.005
 \end{array} \right. \\
 U_\tau \leftarrow u(U_0, U_{\tau-1}, \tau, k_1, k_2) \\
 U
 \end{array} \right. \\
 \text{if } U_{\tau-1} \geq 0.12 \wedge U_{\tau-1} < 0.25 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 U_\tau \leftarrow u(U_0 + 0.032, U_{\tau-1}, \tau, 1, 0) \\
 k_2 \leftarrow 0 \\
 k_1 \leftarrow 1 \\
 U
 \end{array} \right. \\
 \text{if } U_{\tau-1} \geq 0.04 \wedge U_{\tau-1} < 0.12 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 k_2 \leftarrow k_2 + 0.025 \quad \text{if } k_2 < 1 \\
 k_1 \leftarrow k_1 - 0.0025 \quad \text{if } k_1 > 0.4 \\
 k_2 \leftarrow k_2 + 0.01 \quad \text{if } k_2 \geq 1 \wedge k_2 < 10 \\
 k_1 \leftarrow k_1 - 0.05 \quad \text{if } k_1 \leq 0.4 \wedge k_1 > 0 \\
 U_\tau \leftarrow u(U_0 + 0.032, U_{\tau-1}, \tau, k_1, k_2) \\
 u_0 \leftarrow 0.058 \\
 U
 \end{array} \right. \\
 \text{if } U_{\tau-1} < 0.04 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 u_0 \leftarrow u_0 - 0.0001 \\
 U_\tau \leftarrow u(u_0, U_{\tau-1}, \tau, 0, 1) \\
 U
 \end{array} \right. \\
 U
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \right.
 \end{aligned}$$
 $\tau := 0..700$ 

	0
0	0.292
1	0.292
2	0.292
3	0.292
4	0.292
5	0.292
6	0.292
7	0.291
8	0.291
9	0.291
10	0.291
11	0.29
12	0.29
13	0.29
14	0.289
15	...



$$T_a := 473.15$$

$$b := 20$$

$$t(t_0, R, \tau, \lambda, c, k_1, k_2) := t_0 + \frac{\rho_Z \cdot r(T_a) \cdot U_\tau \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2}{b \left( \pi^2 + 2\pi \right) \left[ k_1 \cdot 2\lambda \cdot k_F \cdot \tau - k_2 \cdot c \cdot \rho_Z \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2 \right]}$$

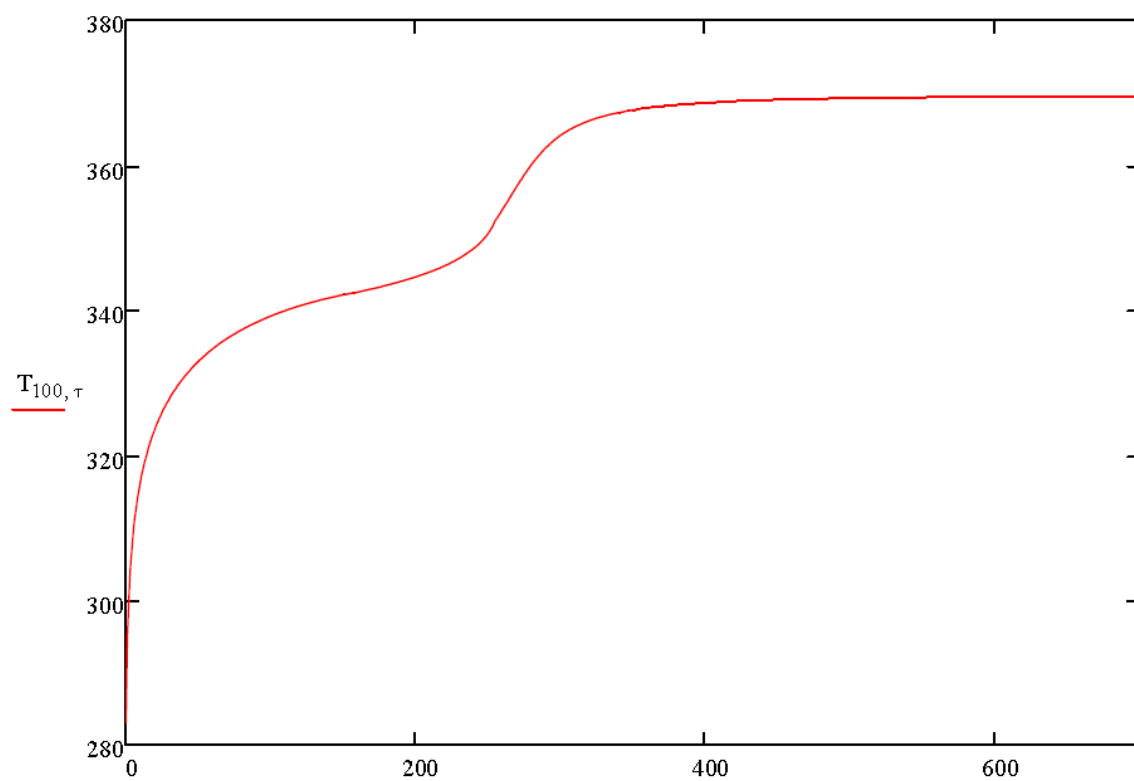
```

T := for R ∈ 0..100
    TR,0 ← 283.15
    k1 ← 1
    k2 ← 0
    for τ ∈ 1..700
        λ(u) ← λw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + λz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        c(u) ← cw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + cz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        if Uτ-1 ≥ 0.12
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        dif ← 0.01
        if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
            k2 ← k2 + dif if k2 < 1
            k1 ← k1 - 0.002 if k1 > 0
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        if Uτ-1 < 0.04
            k2 ← k2 + dif
            q ← 0
            if k1 > 0
                q ← q + 0.001
                k1 ← k1 + 0.002 + q
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            TR,τ ← TR,τ-1 + 0.01 if TR,τ < TR,τ-1
            T
    T
R := 0..100

```

T =

	0	1	2	3	4	5	6
0	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15
1	283.15	283.151	283.152	283.152	283.152	283.153	283.153
2	283.15	283.155	283.157	283.159	283.16	283.161	283.161
3	283.15	283.161	283.166	283.169	283.172	283.174	283.176
4	283.15	283.169	283.178	283.184	283.189	283.193	283.196
5	283.15	283.179	283.194	283.204	283.211	283.217	283.222
6	283.15	283.192	283.213	283.227	283.238	283.246	283.253
7	283.15	283.207	283.236	283.255	283.27	283.281	283.291
8	283.15	283.225	283.262	283.287	283.306	283.321	283.334
9	283.15	283.245	283.292	283.324	283.348	283.367	283.382
10	283.15	283.267	283.326	283.365	283.394	283.417	283.437
11	283.15	283.292	283.363	283.41	283.445	283.473	283.497
12	283.15	283.319	283.403	283.459	283.501	283.535	283.563
13	283.15	283.348	283.447	283.513	283.562	283.602	283.635
14	283.15	283.38	283.494	283.571	283.628	283.674	283.712
15	283.15	283.414	283.545	283.633	283.699	283.751	...



$$T := 283.15 \quad w := 0.226 \quad u := \frac{w}{1-w} = 0.292 \quad \tau := 0$$


---

$$\lambda_w(T) := 5 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.0072 \cdot T - 0.6386$$

$$\lambda_z := 0.14$$

$$\lambda(u) := \lambda_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + \lambda_z \cdot \frac{1}{1+u} \quad \lambda(u) = 0.269$$

$$k_f := 0.67$$

$$r(T) := -0.03264 \cdot T^3 + 33.63 \cdot T^2 - 13970 \cdot T + 4478300$$

$$r(T) = 2.478 \times 10^6$$

$$\rho_z := 2410$$

$$c_w(T) := 2 \cdot 10^{-11} \cdot T^6 - 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 - 0.0248 \cdot T^3 + 7.4407 \cdot T^2 - T + 82469$$

$$c_z := 830$$

$$c(u) := c_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + c_z \cdot \frac{1}{1+u}$$

$$c(u) = 8.12 \times 10^4$$

$$R_{\max} := 0.001$$

$$F := 4 \cdot \pi \cdot R_{\max}^2 = 1.257 \times 10^{-5}$$

$$p_s := 143380$$

$$\varphi := 0.01$$

$$p_p := p_s \cdot \varphi = 1.434 \times 10^3$$

$$\beta := 0.00077$$

$$k := 0.00187 \quad u_p := 0.001$$

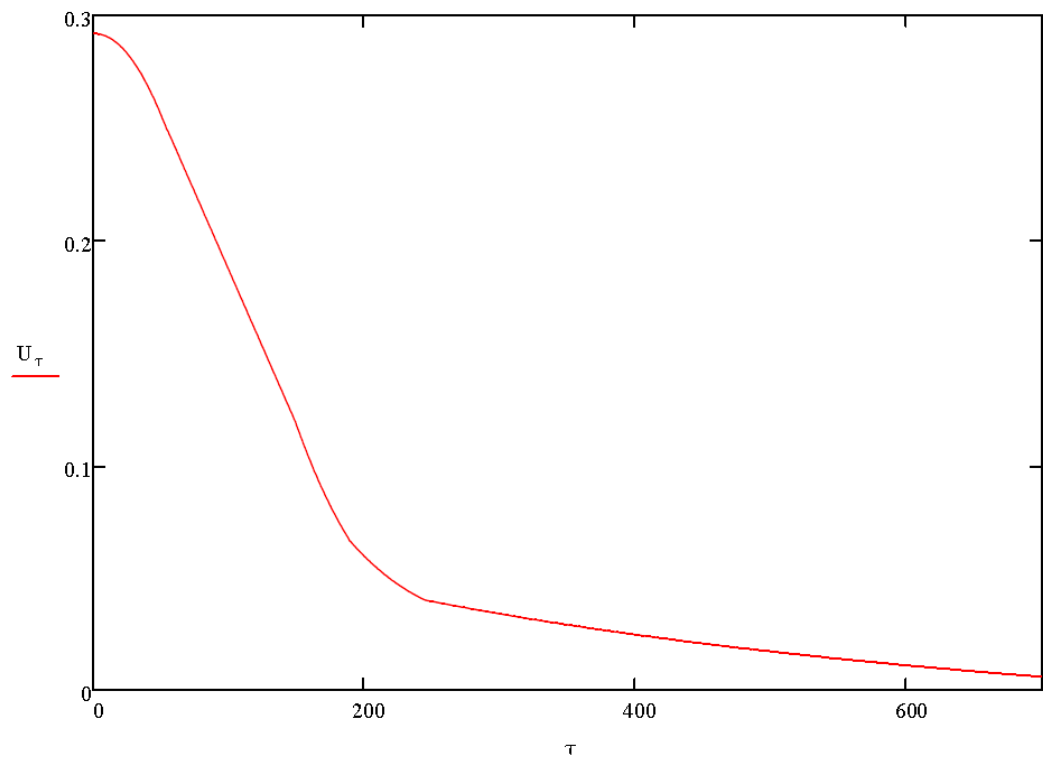
$$u(u_0, u_i, \tau, k_1, k_2) := u_0 - k_1 \cdot \beta \cdot F \cdot (p_s - p_p) \cdot \tau - k_2 \cdot k \cdot (u_i - u_p) \cdot \tau$$

```

U :=
| U0 ←  $\frac{w}{1-w}$ 
| k.1 ← 0.5
| k.2 ← -1.25
| for τ ∈ 1.. 700
|   | if Uτ-1 ≥ 0.25
|   |   | if k.2 < 0
|   |   |   | k.2 ← k.2 + 0.0125
|   |   |   | k.1 ← k.1 + 0.005
|   |   | Uτ ← u(U0, Uτ-1, τ, k.1, k.2)
|   |   | U
|   | if Uτ-1 ≥ 0.12 ∧ Uτ-1 < 0.25
|   |   | Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, 1, 0)
|   |   | k.2 ← 0
|   |   | k.1 ← 1
|   |   | U
|   | if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
|   |   | k.2 ← k.2 + 0.025 if k.2 < 1
|   |   | k.1 ← k.1 - 0.0025 if k.1 > 0.4
|   |   | k.2 ← k.2 + 0.01 if k.2 ≥ 1 ∧ k.2 < 10
|   |   | k.1 ← k.1 - 0.05 if k.1 ≤ 0.4 ∧ k.1 > 0
|   |   | Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, k.1, k.2)
|   |   | u.0 ← 0.058
|   |   | U
|   | if Uτ-1 < 0.04
|   |   | u.0 ← u.0 - 0.0001
|   |   | Uτ ← u(u.0, Uτ-1, τ, 0, 1)
|   |   | U
|   | U
| U
τ := 0.. 700

```

	0
0	0.292
1	0.292
2	0.292
3	0.292
4	0.292
5	0.292
6	0.291
7	0.291
8	0.291
9	0.291
10	0.291
11	0.29
12	0.29
13	0.29
14	0.289
15	...



$$T_a := 473.15$$

$$b := 19$$

$$t(t_0, R, \tau, \lambda, c, k_1, k_2) := t_0 + \frac{\rho_Z \cdot r(T_a) \cdot U_\tau \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2}{b \left( \pi^2 + 2\pi \right) \left[ k_1 \cdot 2\lambda \cdot k_F \tau - k_2 \cdot c \cdot \rho_Z \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2 \right]}$$



```

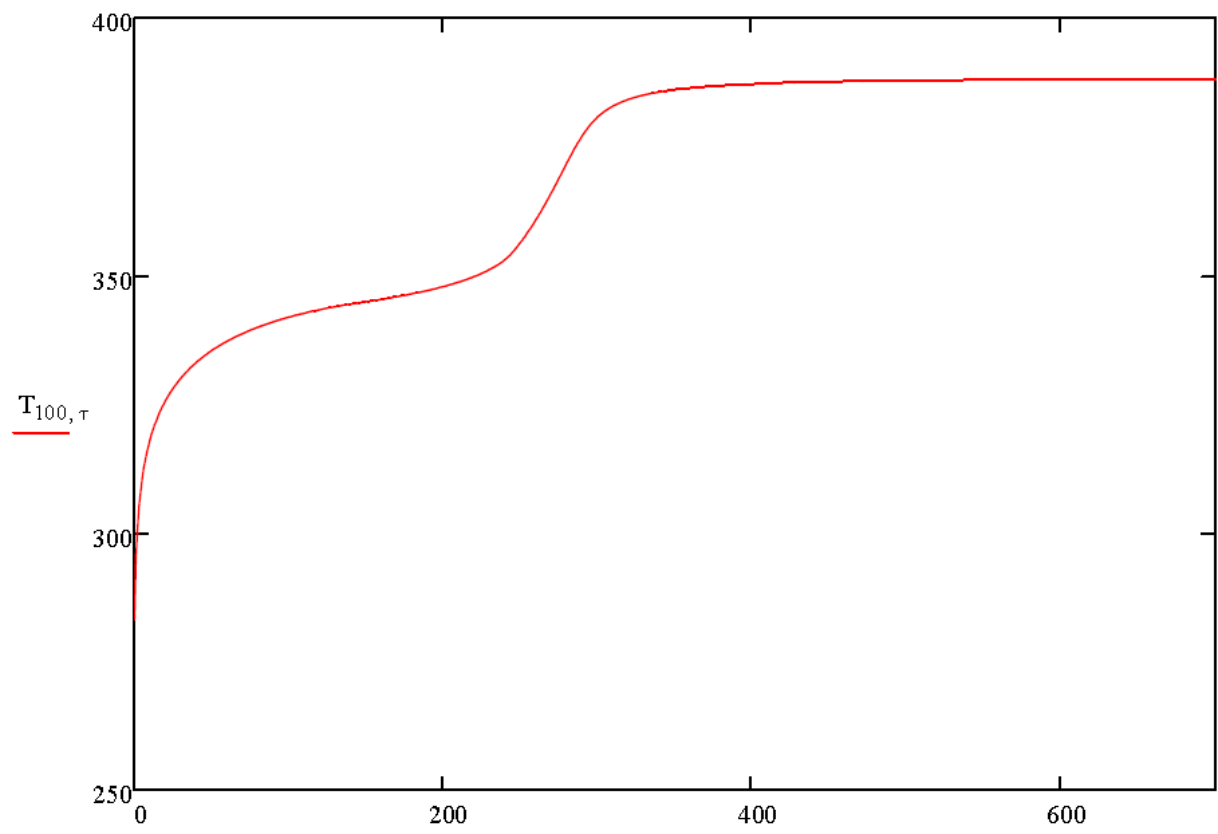
T := for R ∈ 0..100
    TR,0 ← 283.15
    k1 ← 1
    k2 ← 0
    for τ ∈ 1..700
        λ(u) ← λw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + λz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        c(u) ← cw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + cz ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        if Uτ-1 ≥ 0.12
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        dif ← 0.01
        if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
            k2 ← k2 + dif if k2 < 1
            k1 ← k1 - 0.002 if k1 > 0
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        if Uτ-1 < 0.04
            k2 ← k2 + dif
            q ← 0
            if k1 > 0
                q ← q + 0.001
                k1 ← k1 + 0.002 + q
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            TR,τ ← TR,τ-1 + 0.01 if TR,τ < TR,τ-1
            T
    T
T

```

R := 0..100

T =

	0	1	2	3	4	5	6
0	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15
1	283.15	283.151	283.152	283.152	283.153	283.153	283.153
2	283.15	283.155	283.157	283.159	283.16	283.161	283.162
3	283.15	283.161	283.167	283.17	283.173	283.175	283.177
4	283.15	283.17	283.18	283.186	283.191	283.195	283.198
5	283.15	283.181	283.196	283.206	283.214	283.22	283.225
6	283.15	283.194	283.217	283.231	283.242	283.251	283.259
7	283.15	283.21	283.241	283.261	283.276	283.288	283.298
8	283.15	283.229	283.268	283.295	283.314	283.33	283.343
9	283.15	283.25	283.3	283.333	283.358	283.378	283.395
10	283.15	283.273	283.335	283.376	283.407	283.431	283.452
11	283.15	283.299	283.374	283.423	283.461	283.49	283.515
12	283.15	283.328	283.416	283.475	283.52	283.555	283.585
13	283.15	283.358	283.462	283.532	283.584	283.625	283.66
14	283.15	283.392	283.512	283.593	283.653	283.701	283.742
15	283.15	283.427	283.566	283.658	283.728	283.783	...



$$T := 283.15 \qquad w := 0.226 \qquad u := \frac{w}{1-w} = 0.292 \quad \tau := 0$$


---

$$\lambda_w(T) := 5 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.0072 \cdot T - 0.6386$$

$$\lambda_z := 0.14$$

$$\lambda(u) := \lambda_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + \lambda_z \cdot \frac{1}{1+u} \qquad \lambda(u) = 0.269$$

$$k_f := 0.67$$

$$r(T) := -0.03264 \cdot T^3 + 33.63 \cdot T^2 - 13970 \cdot T + 4478300$$

$$r(T) = 2.478 \times 10^6$$

$$\rho_z := 2410$$

$$c_w(T) := 2 \cdot 10^{-11} \cdot T^6 - 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 - 0.0248 \cdot T^3 + 7.4407 \cdot T^2 - T + 82469$$

$$c_z := 830$$

$$c(u) := c_w(T) \cdot \frac{u}{1+u} + c_z \cdot \frac{1}{1+u}$$

$$c(u) = 8.12 \times 10^4$$

$$R_{\max} := 0.005$$

$$F := 4 \cdot \pi \cdot R_{\max}^2 = 3.142 \times 10^{-4}$$

$$p_s := 47410$$

$$\varphi := 0.4$$

$$p_p := p_s \cdot \varphi = 1.896 \times 10^4$$

$$\beta := 0.00012$$

$$k := 0.0019 \qquad u_p := 0.001$$

$$u(u_0, u_i, \tau, k_1, k_2) := u_0 - k_1 \cdot \beta \cdot F \cdot (p_s - p_p) \cdot \tau - k_2 \cdot k \cdot (u_i - u_p) \cdot \tau$$

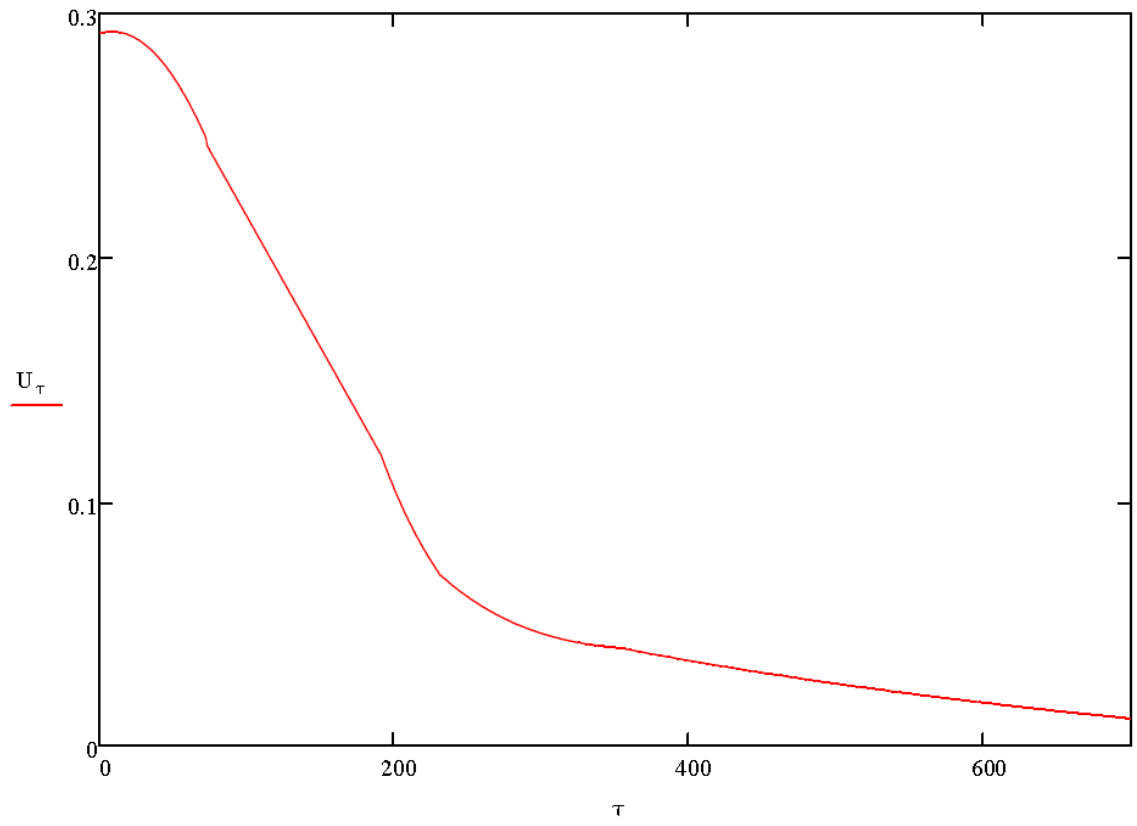
```

U :=
  U0 ←  $\frac{w}{1-w}$ 
  k1 ← 0.5
  k2 ← -1.25
  for τ ∈ 1..700
    if Uτ-1 ≥ 0.25
      if k2 < 0
        k2 ← k2 + 0.01
        k1 ← k1 + 0.004
        Uτ ← u(U0, Uτ-1, τ, k1, k2)
        U
      if Uτ-1 ≥ 0.12 ∧ Uτ-1 < 0.25
        Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, 1, 0)
        k2 ← 0
        k1 ← 1
        U
      if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
        k2 ← k2 + 0.025 if k2 < 1
        k1 ← k1 - 0.0025 if k1 > 0.4
        k2 ← k2 + 0.01 if k2 ≥ 1 ∧ k2 < 10
        k1 ← k1 - 0.05 if k1 ≤ 0.4 ∧ k1 > 0
        Uτ ← u(U0 + 0.032, Uτ-1, τ, k1, k2)
        u0 ← 0.066
        U
      if Uτ-1 < 0.04
        u0 ← u0 - 0.00012
        Uτ ← u(u0, Uτ-1, τ, 0, 1)
        U
    U
  U

```

τ := 0..700

	0
0	0.292
1	0.292
2	0.292
3	0.292
4	0.292
5	0.293
6	0.293
7	0.293
8	0.293
9	0.293
10	0.293
11	0.293
12	0.292
13	0.292
14	0.292
15	...



$$T_a := 473.15$$

$$b := 20$$

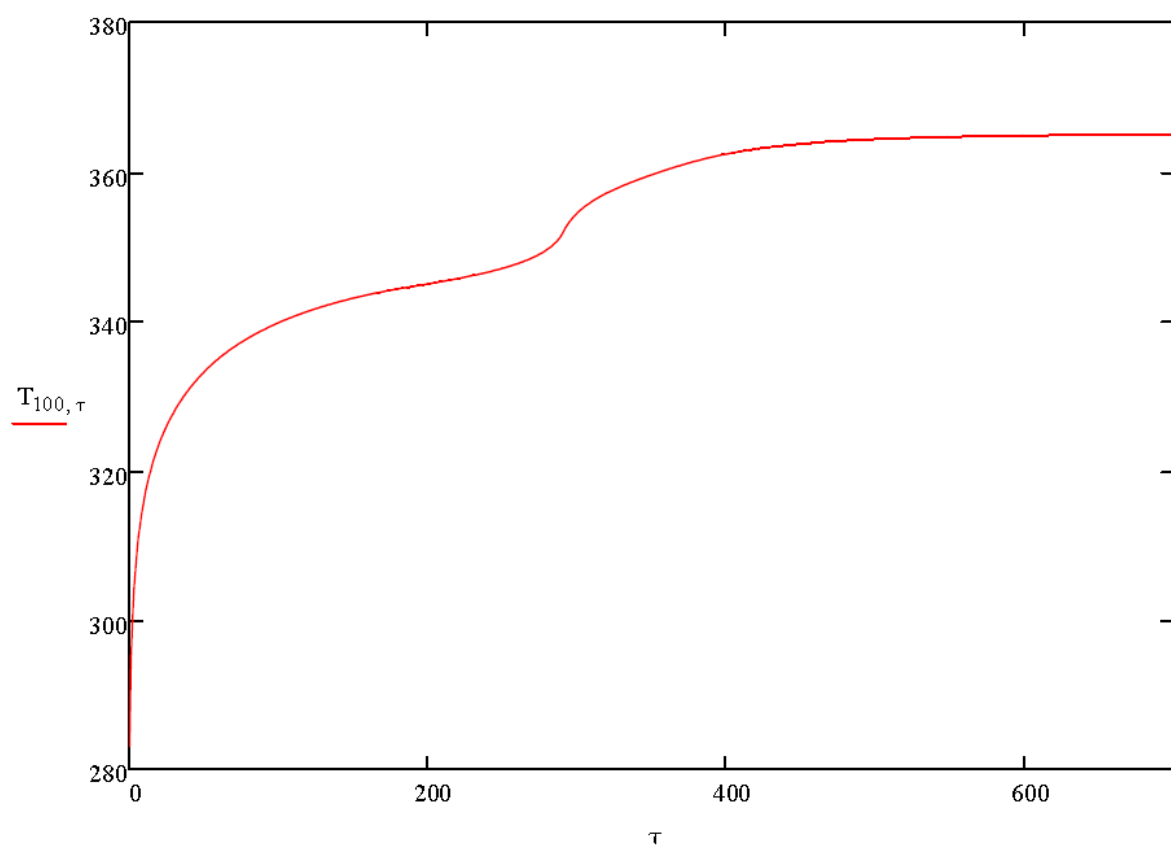
$$t(t_0, R, \tau, \lambda, c, k_1, k_2) := t_0 + \frac{\rho_Z \cdot r(T_a) \cdot U_\tau \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2}{b(\pi^2 + 2\pi) \left[ k_1 \cdot 2\lambda \cdot k_f \cdot \tau - k_2 \cdot c \cdot \rho_Z \cdot \left(\frac{R}{10^5}\right)^2 \right]}$$

```

T := for R ∈ 0..100
    TR,0 ← 283.15
    k1 ← 1
    k2 ← 0
    for τ ∈ 1..700
        λ(u) ← λw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + λZ ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        c(u) ← cw(TR,τ-1) ·  $\frac{u}{1+u}$  + cZ ·  $\frac{1}{1+u}$ 
        if Uτ-1 ≥ 0.12
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        dif ← 0.01
        if Uτ-1 ≥ 0.04 ∧ Uτ-1 < 0.12
            k2 ← k2 + dif if k2 < 1
            k1 ← k1 - 0.002 if k1 > 0
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            T
        if Uτ-1 < 0.04
            k2 ← k2 + dif
            q ← 0
            if k1 > 0
                q ← q + 0.001
                k1 ← k1 + 0.002 + q
            TR,τ ← t(TR,τ-1, R, τ, λ(Uτ), c(Uτ), k1, k2)
            TR,τ ← TR,τ-1 + 0.01 if TR,τ < TR,τ-1
            T
    T
R := 0..100

```

	0	1	2	3	4	5	6
0	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15	283.15
1	283.15	283.151	283.152	283.152	283.152	283.153	283.153
2	283.15	283.155	283.157	283.159	283.16	283.161	283.161
3	283.15	283.161	283.166	283.169	283.172	283.174	283.176
4	283.15	283.169	283.178	283.184	283.189	283.193	283.196
5	283.15	283.179	283.194	283.204	283.211	283.217	283.222
6	283.15	283.192	283.213	283.227	283.238	283.246	283.253
7	283.15	283.207	283.236	283.255	283.27	283.281	283.291
8	283.15	283.225	283.262	283.287	283.306	283.321	283.334
9	283.15	283.245	283.292	283.324	283.348	283.367	283.383
10	283.15	283.267	283.326	283.365	283.394	283.418	283.437
11	283.15	283.292	283.363	283.41	283.445	283.474	283.497
12	283.15	283.319	283.403	283.459	283.501	283.535	283.563
13	283.15	283.348	283.447	283.513	283.562	283.602	283.635
14	283.15	283.38	283.494	283.571	283.628	283.674	283.712
15	283.15	283.414	283.545	283.633	283.699	283.752	...



Таблиця А.1 – Вологовміст з розрахунку математичної моделі

Time	U1	U2	U3	U4
0	0,29199	0,29199	0,29199	0,29199
1	0,292155	0,29199	0,29197	0,29213
2	0,292293	0,29196	0,29192	0,29226
3	0,292402	0,29190	0,29185	0,29237
4	0,292483	0,29182	0,29174	0,29246
5	0,292536	0,29171	0,29161	0,29252
6	0,29256	0,29157	0,29145	0,29257
7	0,292555	0,29140	0,29127	0,29260
8	0,292522	0,29121	0,29105	0,29261
9	0,292459	0,29098	0,29081	0,29260
10	0,29237	0,29073	0,29053	0,29257
11	0,292244	0,29045	0,29023	0,29252
12	0,292092	0,29014	0,28990	0,29245
13	0,291911	0,28981	0,28954	0,29236
14	0,291699	0,28944	0,28915	0,29224
15	0,291458	0,28905	0,28873	0,29211
16	0,291186	0,28862	0,28828	0,29196
17	0,290884	0,28817	0,28781	0,29178
18	0,290551	0,28769	0,28730	0,29159
19	0,290188	0,28718	0,28676	0,29137
20	0,28979	0,28664	0,28620	0,29114
21	0,289369	0,28607	0,28560	0,29088
22	0,288913	0,28547	0,28497	0,29060
23	0,288427	0,28484	0,28432	0,29030
24	0,28791	0,28418	0,28363	0,28997
25	0,287361	0,28350	0,28292	0,28963
26	0,286782	0,28278	0,28217	0,28926
27	0,286172	0,28204	0,28140	0,28888
28	0,28553	0,28126	0,28059	0,28847
29	0,284858	0,28045	0,27976	0,28804
30	0,28415	0,27962	0,27889	0,28759
31	0,283419	0,27876	0,27800	0,28711
32	0,282653	0,27786	0,27707	0,28662
33	0,281857	0,27694	0,27612	0,28610
34	0,281029	0,27599	0,27513	0,28556
35	0,28017	0,27501	0,27412	0,28500
36	0,27928	0,27400	0,27308	0,28442
37	0,278359	0,27296	0,27200	0,28381
38	0,277408	0,27189	0,27090	0,28318
39	0,276425	0,27079	0,26977	0,28254
40	0,27541	0,26967	0,26861	0,28187
41	0,274369	0,26851	0,26742	0,28117
42	0,273295	0,26733	0,26620	0,28046



Продовження таблиці А.1

43	0,272191	0,26612	0,26496	0,27972
44	0,271056	0,26488	0,26368	0,27897
45	0,269892	0,26361	0,26238	0,27819
46	0,268698	0,26231	0,26104	0,27739
47	0,267474	0,26099	0,25968	0,27656
48	0,26622	0,25964	0,25830	0,27572
49	0,264937	0,25826	0,25688	0,27486
50	0,26362	0,25686	0,25544	0,27397
51	0,262283	0,25542	0,25397	0,27306
52	0,260912	0,25396	0,25247	0,27213
53	0,259513	0,25248	0,25094	0,27118
54	0,258086	0,25097	0,24939	0,27021
55	0,25663	0,24943	0,24845	0,26922
56	0,255147	0,24907	0,24707	0,26820
57	0,253635	0,24773	0,24570	0,26717
58	0,252096	0,24640	0,24433	0,26611
59	0,25053	0,24506	0,24295	0,26504
60	0,24894	0,24372	0,24158	0,26394
61	0,247671	0,24238	0,24021	0,26282
62	0,24642	0,24105	0,23883	0,26169
63	0,245169	0,23971	0,23746	0,26053
64	0,243918	0,23837	0,23609	0,25935
65	0,242667	0,23703	0,23471	0,25816
66	0,241416	0,23569	0,23334	0,25694
67	0,240165	0,23436	0,23197	0,25571
68	0,238913	0,23302	0,23059	0,25445
69	0,237662	0,23168	0,22922	0,25318
70	0,23641	0,23034	0,22785	0,25188
71	0,23516	0,22901	0,22647	0,25057
72	0,233909	0,22767	0,22510	0,24924
73	0,232658	0,22633	0,22373	0,24571
74	0,231407	0,22499	0,22235	0,24463
75	0,230156	0,22365	0,22098	0,24356
76	0,228905	0,22232	0,21960	0,24249
77	0,227653	0,22098	0,21823	0,24142
78	0,226402	0,21964	0,21686	0,24034
79	0,225151	0,21830	0,21548	0,23927
80	0,22390	0,21696	0,21411	0,23820
81	0,222649	0,21563	0,21274	0,23713
82	0,221398	0,21429	0,21136	0,23605
83	0,220147	0,21295	0,20999	0,23498
84	0,218896	0,21161	0,20862	0,23391
85	0,217644	0,21028	0,20724	0,23284
86	0,216393	0,20894	0,20587	0,23176

Продовження таблиці А.1

87	0,215142	0,20760	0,20450	0,23069
88	0,213891	0,20626	0,20312	0,22962
89	0,21264	0,20492	0,20175	0,22855
90	0,21139	0,20359	0,20038	0,22747
91	0,210138	0,20225	0,19900	0,22640
92	0,208887	0,20091	0,19763	0,22533
93	0,207635	0,19957	0,19626	0,22426
94	0,206384	0,19824	0,19488	0,22319
95	0,205133	0,19690	0,19351	0,22211
96	0,203882	0,19556	0,19214	0,22104
97	0,202631	0,19422	0,19076	0,21997
98	0,20138	0,19288	0,18939	0,21890
99	0,200129	0,19155	0,18801	0,21782
100	0,19888	0,19021	0,18664	0,21675
101	0,197627	0,18887	0,18527	0,21568
102	0,196375	0,18753	0,18389	0,21461
103	0,195124	0,18620	0,18252	0,21353
104	0,193873	0,18486	0,18115	0,21246
105	0,192622	0,18352	0,17977	0,21139
106	0,191371	0,18218	0,17840	0,21032
107	0,19012	0,18084	0,17703	0,20924
108	0,188869	0,17951	0,17565	0,20817
109	0,187618	0,17817	0,17428	0,20710
110	0,18637	0,17683	0,17291	0,20603
111	0,185115	0,17549	0,17153	0,20495
112	0,183864	0,17415	0,17016	0,20388
113	0,182613	0,17282	0,16879	0,20281
114	0,181362	0,17148	0,16741	0,20174
115	0,180111	0,17014	0,16604	0,20066
116	0,17886	0,16880	0,16467	0,19959
117	0,177609	0,16747	0,16329	0,19852
118	0,176357	0,16613	0,16192	0,19745
119	0,175106	0,16479	0,16054	0,19638
120	0,17386	0,16345	0,15917	0,19530
121	0,172604	0,16211	0,15780	0,19423
122	0,171353	0,16078	0,15642	0,19316
123	0,170102	0,15944	0,15505	0,19209
124	0,168851	0,15810	0,15368	0,19101
125	0,1676	0,15676	0,15230	0,18994
126	0,166348	0,15543	0,15093	0,18887
127	0,165097	0,15409	0,14956	0,18780
128	0,163846	0,15275	0,14818	0,18672
129	0,162595	0,15141	0,14681	0,18565
130	0,16134	0,15007	0,14544	0,18458

Продовження таблиці А.1

131	0,160093	0,14874	0,14406	0,18351
132	0,158842	0,14740	0,14269	0,18243
133	0,157591	0,14606	0,14132	0,18136
134	0,15634	0,14472	0,13994	0,18029
135	0,155088	0,14339	0,13857	0,17922
136	0,153837	0,14205	0,13720	0,17814
137	0,152586	0,14071	0,13582	0,17707
138	0,151335	0,13937	0,13445	0,17600
139	0,150084	0,13803	0,13308	0,17493
140	0,14883	0,13670	0,13170	0,17386
141	0,147582	0,13536	0,13033	0,17278
142	0,146331	0,13402	0,12895	0,17171
143	0,145079	0,13268	0,12758	0,17064
144	0,143828	0,13134	0,12621	0,16957
145	0,142577	0,13001	0,12483	0,16849
146	0,141326	0,12867	0,12346	0,16742
147	0,140075	0,12733	0,12209	0,16635
148	0,138824	0,12599	0,12071	0,16528
149	0,137573	0,12466	0,11934	0,16420
150	0,13632	0,12332	0,11765	0,16313
151	0,13507	0,12198	0,11598	0,16206
152	0,133819	0,12064	0,11433	0,16099
153	0,132568	0,11930	0,11271	0,15991
154	0,131317	0,11763	0,11110	0,15884
155	0,130066	0,11598	0,10951	0,15777
156	0,128815	0,11434	0,10794	0,15670
157	0,127564	0,11273	0,10639	0,15562
158	0,126313	0,11113	0,10486	0,15455
159	0,125062	0,10956	0,10335	0,15348
160	0,12381	0,10800	0,10185	0,15241
161	0,122559	0,10647	0,10038	0,15134
162	0,121308	0,10495	0,09893	0,15026
163	0,120057	0,10346	0,09750	0,14919
164	0,118806	0,10198	0,09609	0,14812
165	0,117344	0,10053	0,09469	0,14705
166	0,115897	0,09909	0,09332	0,14597
167	0,114467	0,09767	0,09197	0,14490
168	0,113052	0,09628	0,09063	0,14383
169	0,111652	0,09490	0,08931	0,14276
170	0,11027	0,09354	0,08802	0,14168
171	0,1089	0,09220	0,08674	0,14061
172	0,107548	0,09088	0,08548	0,13954
173	0,106211	0,08958	0,08424	0,13847
174	0,10489	0,08830	0,08301	0,13739

Продовження таблиці А.1

175	0,103585	0,08704	0,08181	0,13632
176	0,102295	0,08579	0,08062	0,13525
177	0,101021	0,08457	0,07945	0,13418
178	0,099763	0,08336	0,07830	0,13310
179	0,09852	0,08217	0,07717	0,13203
180	0,09729	0,08100	0,07605	0,13096
181	0,09608	0,07984	0,07495	0,12989
182	0,094883	0,07871	0,07387	0,12881
183	0,093701	0,07759	0,07281	0,12774
184	0,092535	0,07649	0,07176	0,12667
185	0,091384	0,07540	0,07073	0,12560
186	0,090248	0,07434	0,06972	0,12453
187	0,089127	0,07329	0,06872	0,12345
188	0,08802	0,07225	0,06774	0,12238
189	0,086929	0,07124	0,06654	0,12131
190	0,08585	0,07023	0,06603	0,12024
191	0,08479	0,06925	0,06528	0,11916
192	0,083743	0,06828	0,06463	0,11753
193	0,082709	0,06709	0,06395	0,11592
194	0,081691	0,06660	0,06330	0,11433
195	0,080686	0,06587	0,06265	0,11277
196	0,079695	0,06524	0,06201	0,11123
197	0,078719	0,06458	0,06138	0,10971
198	0,077756	0,06395	0,06076	0,10822
199	0,076807	0,06332	0,06015	0,10674
200	0,07587	0,06270	0,05954	0,10530
201	0,074951	0,06208	0,05894	0,10387
202	0,074042	0,06148	0,05835	0,10247
203	0,073147	0,06088	0,05777	0,10108
204	0,072266	0,06029	0,05720	0,09972
205	0,071397	0,05971	0,05664	0,09839
206	0,070541	0,05913	0,05608	0,09707
207	0,069698	0,05857	0,05553	0,09577
208	0,068868	0,05801	0,05499	0,09449
209	0,06805	0,05746	0,05446	0,09324
210	0,06724	0,05692	0,05393	0,09200
211	0,066452	0,05639	0,05341	0,09079
212	0,065671	0,05586	0,05290	0,08959
213	0,064902	0,05534	0,05240	0,08841
214	0,063889	0,05483	0,05191	0,08726
215	0,063505	0,05432	0,05142	0,08612
216	0,062875	0,05383	0,05094	0,08500
217	0,062357	0,05334	0,05047	0,08390
218	0,061803	0,05286	0,05000	0,08281

Продовження таблиці А.1

219	0,061274	0,05238	0,04955	0,08175
220	0,06075	0,05191	0,04909	0,08070
221	0,060227	0,05145	0,04865	0,07967
222	0,059714	0,05100	0,04821	0,07865
223	0,059209	0,05055	0,04779	0,07766
224	0,058711	0,05011	0,04736	0,07668
225	0,058221	0,04968	0,04695	0,07571
226	0,057737	0,04925	0,04654	0,07476
227	0,05726	0,04884	0,04614	0,07383
228	0,05679	0,04842	0,04574	0,07292
229	0,056327	0,04802	0,04535	0,07202
230	0,05587	0,04762	0,04497	0,07113
231	0,055421	0,04723	0,04459	0,06995
232	0,054978	0,04684	0,04423	0,06969
233	0,054542	0,04646	0,04386	0,06904
234	0,054112	0,04609	0,04351	0,06857
235	0,053689	0,04572	0,04316	0,06802
236	0,053272	0,04536	0,04281	0,06752
237	0,052862	0,04500	0,04248	0,06701
238	0,052458	0,04466	0,04214	0,06651
239	0,05206	0,04431	0,04182	0,06602
240	0,05167	0,04398	0,04150	0,06553
241	0,051284	0,04365	0,04119	0,06505
242	0,050905	0,04332	0,04088	0,06458
243	0,050532	0,04301	0,04058	0,06411
244	0,050165	0,04269	0,04028	0,06364
245	0,049804	0,04239	0,03999	0,06319
246	0,049449	0,04208	0,03996	0,06274
247	0,0491	0,04179	0,03980	0,06229
248	0,048756	0,04150	0,03970	0,06186
249	0,048419	0,04122	0,03958	0,06142
250	0,04809	0,04094	0,03946	0,06100
251	0,047761	0,04066	0,03935	0,06057
252	0,04744	0,04040	0,03923	0,06016
253	0,047125	0,04013	0,03911	0,05975
254	0,046816	0,03987	0,03900	0,05935
255	0,046512	0,03936	0,03888	0,05895
256	0,046213	0,03944	0,03877	0,05856
257	0,04592	0,03923	0,03865	0,05817
258	0,045632	0,03916	0,03854	0,05779
259	0,045349	0,03902	0,03842	0,05741
260	0,04507	0,03891	0,03831	0,05704
261	0,044799	0,03879	0,03819	0,05667
262	0,044532	0,03868	0,03808	0,05631

Продовження таблиці А.1

263	0,04427	0,03857	0,03796	0,05596
264	0,044012	0,03845	0,03785	0,05561
265	0,04376	0,03834	0,03774	0,05526
266	0,043513	0,03823	0,03763	0,05492
267	0,04327	0,03811	0,03751	0,05459
268	0,043032	0,03800	0,03740	0,05426
269	0,042799	0,03789	0,03729	0,05393
270	0,04257	0,03778	0,03718	0,05361
271	0,042347	0,03766	0,03707	0,05330
272	0,042128	0,03755	0,03696	0,05299
273	0,041914	0,03744	0,03684	0,05268
274	0,041704	0,03733	0,03673	0,05238
275	0,041498	0,03722	0,03662	0,05209
276	0,041297	0,03711	0,03651	0,05179
277	0,0411	0,03700	0,03640	0,05151
278	0,040908	0,03689	0,03629	0,05122
279	0,04072	0,03678	0,03619	0,05095
280	0,04054	0,03667	0,03608	0,05067
281	0,040356	0,03656	0,03597	0,05040
282	0,04018	0,03645	0,03586	0,05014
283	0,040009	0,03634	0,03575	0,04988
284	0,039841	0,03623	0,03564	0,04962
285	0,03819	0,03612	0,03554	0,04937
286	0,03889	0,03602	0,03543	0,04912
287	0,038335	0,03591	0,03532	0,04888
288	0,038453	0,03580	0,03522	0,04864
289	0,038209	0,03569	0,03511	0,04841
290	0,03816	0,03559	0,03500	0,04817
291	0,038008	0,03548	0,03490	0,04795
292	0,037912	0,03537	0,03479	0,04772
293	0,037785	0,03527	0,03469	0,04750
294	0,037676	0,03516	0,03458	0,04729
295	0,037558	0,03506	0,03448	0,04708
296	0,037445	0,03495	0,03437	0,04687
297	0,037329	0,03484	0,03427	0,04667
298	0,037215	0,03474	0,03416	0,04647
299	0,037101	0,03464	0,03406	0,04627
300	0,03699	0,03453	0,03395	0,04608
301	0,036874	0,03443	0,03385	0,04589
302	0,036761	0,03432	0,03375	0,04570
303	0,036648	0,03422	0,03364	0,04552
304	0,036535	0,03412	0,03354	0,04534
305	0,036423	0,03401	0,03344	0,04516
306	0,03631	0,03391	0,03334	0,04499

Продовження таблиці А.1

307	0,036199	0,03381	0,03324	0,04482
308	0,036087	0,03370	0,03313	0,04466
309	0,035976	0,03360	0,03303	0,04450
310	0,03586	0,03350	0,03293	0,04434
311	0,035754	0,03340	0,03283	0,04418
312	0,035643	0,03330	0,03273	0,04403
313	0,035533	0,03320	0,03263	0,04388
314	0,035423	0,03310	0,03253	0,04373
315	0,035313	0,03299	0,03243	0,04359
316	0,035204	0,03289	0,03233	0,04345
317	0,035094	0,03279	0,03223	0,04331
318	0,034985	0,03269	0,03213	0,04318
319	0,034877	0,03259	0,03203	0,04305
320	0,03477	0,03249	0,03193	0,04292
321	0,03466	0,03239	0,03183	0,04280
322	0,034552	0,03230	0,03173	0,04267
323	0,034444	0,03220	0,03164	0,04255
324	0,034337	0,03210	0,03154	0,04244
325	0,03423	0,03200	0,03144	0,04232
326	0,034123	0,03190	0,03134	0,04221
327	0,034016	0,03180	0,03125	0,04210
328	0,033909	0,03171	0,03115	0,04200
329	0,033803	0,03161	0,03105	0,04190
330	0,03370	0,03151	0,03096	0,04179
331	0,033591	0,03141	0,03086	0,04170
332	0,033486	0,03132	0,03076	0,04160
333	0,033381	0,03122	0,03067	0,04151
334	0,033276	0,03112	0,03057	0,04142
335	0,033171	0,03103	0,03048	0,04133
336	0,033066	0,03093	0,03038	0,04125
337	0,032962	0,03084	0,03029	0,04116
338	0,032858	0,03074	0,03019	0,04108
339	0,032754	0,03065	0,03010	0,04100
340	0,03265	0,03055	0,03000	0,04093
341	0,032547	0,03046	0,02991	0,04085
342	0,032444	0,03036	0,02981	0,04078
343	0,032341	0,03027	0,02972	0,04071
344	0,032239	0,03017	0,02963	0,04065
345	0,032136	0,03008	0,02953	0,04058
346	0,032034	0,02999	0,02944	0,04052
347	0,031932	0,02989	0,02935	0,04046
348	0,031831	0,02980	0,02925	0,04040
349	0,031729	0,02971	0,02916	0,04034
350	0,03163	0,02961	0,02907	0,04029

Продовження таблиці А.1

351	0,031527	0,02952	0,02898	0,04024
352	0,031426	0,02943	0,02888	0,04019
353	0,031325	0,02933	0,02879	0,04014
354	0,031225	0,02924	0,02870	0,04009
355	0,031125	0,02915	0,02861	0,04005
356	0,031025	0,02906	0,02852	0,04001
357	0,030926	0,02897	0,02843	0,03997
358	0,030826	0,02888	0,02834	0,03938
359	0,030727	0,02879	0,02825	0,03958
360	0,03063	0,02869	0,02816	0,03925
361	0,030529	0,02860	0,02807	0,03929
362	0,030431	0,02851	0,02798	0,03907
363	0,030332	0,02842	0,02789	0,03903
364	0,030234	0,02833	0,02780	0,03886
365	0,030136	0,02824	0,02771	0,03878
366	0,030039	0,02815	0,02762	0,03865
367	0,029941	0,02806	0,02753	0,03855
368	0,029844	0,02798	0,02744	0,03843
369	0,029747	0,02789	0,02735	0,03832
370	0,02965	0,02780	0,02727	0,03820
371	0,029553	0,02771	0,02718	0,03810
372	0,029457	0,02762	0,02709	0,03798
373	0,029361	0,02753	0,02700	0,03787
374	0,029265	0,02744	0,02691	0,03776
375	0,029169	0,02736	0,02683	0,03765
376	0,029074	0,02727	0,02674	0,03754
377	0,028978	0,02718	0,02665	0,03743
378	0,028883	0,02709	0,02657	0,03732
379	0,028788	0,02701	0,02648	0,03721
380	0,02869	0,02692	0,02639	0,03710
381	0,028599	0,02683	0,02631	0,03699
382	0,028505	0,02675	0,02622	0,03688
383	0,028411	0,02666	0,02614	0,03677
384	0,028317	0,02657	0,02605	0,03666
385	0,028223	0,02649	0,02597	0,03655
386	0,02813	0,02640	0,02588	0,03645
387	0,028036	0,02632	0,02579	0,03634
388	0,027943	0,02623	0,02571	0,03623
389	0,027851	0,02615	0,02563	0,03612
390	0,02776	0,02606	0,02554	0,03601
391	0,027665	0,02598	0,02546	0,03591
392	0,027573	0,02589	0,02537	0,03580
393	0,027481	0,02581	0,02529	0,03569
394	0,027389	0,02572	0,02520	0,03559



Продовження таблиці А.1

395	0,027298	0,02564	0,02512	0,03548
396	0,027206	0,02555	0,02504	0,03538
397	0,027115	0,02547	0,02495	0,03527
398	0,027024	0,02539	0,02487	0,03516
399	0,026933	0,02530	0,02479	0,03506
400	0,02684	0,02522	0,02471	0,03495
401	0,026752	0,02514	0,02462	0,03485
402	0,026661	0,02505	0,02454	0,03475
403	0,026571	0,02497	0,02446	0,03464
404	0,026481	0,02489	0,02438	0,03454
405	0,026392	0,02481	0,02430	0,03443
406	0,026302	0,02473	0,02421	0,03433
407	0,026213	0,02464	0,02413	0,03423
408	0,026124	0,02456	0,02405	0,03412
409	0,026035	0,02448	0,02397	0,03402
410	0,02595	0,02440	0,02389	0,03392
411	0,025857	0,02432	0,02381	0,03381
412	0,025769	0,02424	0,02373	0,03371
413	0,025681	0,02415	0,02365	0,03361
414	0,025593	0,02407	0,02357	0,03351
415	0,025505	0,02399	0,02349	0,03341
416	0,025417	0,02391	0,02341	0,03331
417	0,02533	0,02383	0,02333	0,03320
418	0,025242	0,02375	0,02325	0,03310
419	0,025155	0,02367	0,02317	0,03300
420	0,02507	0,02359	0,02309	0,03290
421	0,024982	0,02351	0,02301	0,03280
422	0,024895	0,02343	0,02293	0,03270
423	0,024809	0,02335	0,02285	0,03260
424	0,024723	0,02328	0,02277	0,03250
425	0,024637	0,02320	0,02270	0,03240
426	0,024551	0,02312	0,02262	0,03230
427	0,024465	0,02304	0,02254	0,03220
428	0,02438	0,02296	0,02246	0,03211
429	0,024294	0,02288	0,02238	0,03201
430	0,02421	0,02280	0,02231	0,03191
431	0,024124	0,02273	0,02223	0,03181
432	0,024039	0,02265	0,02215	0,03171
433	0,023955	0,02257	0,02207	0,03161
434	0,02387	0,02249	0,02200	0,03152
435	0,023786	0,02242	0,02192	0,03142
436	0,023702	0,02234	0,02184	0,03132
437	0,023618	0,02226	0,02177	0,03122
438	0,023534	0,02219	0,02169	0,03113

Продовження таблиці А.1

439	0,023451	0,02211	0,02161	0,03103
440	0,02337	0,02203	0,02154	0,03093
441	0,023284	0,02196	0,02146	0,03084
442	0,023201	0,02188	0,02139	0,03074
443	0,023118	0,02180	0,02131	0,03065
444	0,023036	0,02173	0,02124	0,03055
445	0,022953	0,02165	0,02116	0,03046
446	0,022871	0,02158	0,02109	0,03036
447	0,022788	0,02150	0,02101	0,03026
448	0,022706	0,02143	0,02094	0,03017
449	0,022625	0,02135	0,02086	0,03008
450	0,02254	0,02128	0,02079	0,02998
451	0,022461	0,02120	0,02071	0,02989
452	0,02238	0,02113	0,02064	0,02979
453	0,022299	0,02105	0,02056	0,02970
454	0,022218	0,02098	0,02049	0,02960
455	0,022137	0,02090	0,02042	0,02951
456	0,022056	0,02083	0,02034	0,02942
457	0,021976	0,02075	0,02027	0,02932
458	0,021895	0,02068	0,02020	0,02923
459	0,021815	0,02061	0,02012	0,02914
460	0,02173	0,02053	0,02005	0,02905
461	0,021655	0,02046	0,01998	0,02895
462	0,021575	0,02039	0,01990	0,02886
463	0,021496	0,02031	0,01983	0,02877
464	0,021416	0,02024	0,01976	0,02868
465	0,021337	0,02017	0,01969	0,02859
466	0,021258	0,02010	0,01962	0,02850
467	0,021179	0,02002	0,01954	0,02840
468	0,0211	0,01995	0,01947	0,02831
469	0,021022	0,01988	0,01940	0,02822
470	0,02094	0,01981	0,01933	0,02813
471	0,020865	0,01974	0,01926	0,02804
472	0,020787	0,01966	0,01919	0,02795
473	0,020709	0,01959	0,01911	0,02786
474	0,020631	0,01952	0,01904	0,02777
475	0,020553	0,01945	0,01897	0,02768
476	0,020475	0,01938	0,01890	0,02759
477	0,020398	0,01931	0,01883	0,02750
478	0,020321	0,01924	0,01876	0,02741
479	0,020244	0,01917	0,01869	0,02732
480	0,02017	0,01909	0,01862	0,02723
481	0,02009	0,01902	0,01855	0,02715
482	0,020013	0,01895	0,01848	0,02706

Продовження таблиці А.1

483	0,019937	0,01888	0,01841	0,02697
484	0,019861	0,01881	0,01834	0,02688
485	0,019784	0,01874	0,01827	0,02679
486	0,019708	0,01867	0,01820	0,02670
487	0,019632	0,01860	0,01813	0,02662
488	0,019557	0,01853	0,01806	0,02653
489	0,019481	0,01847	0,01800	0,02644
490	0,01941	0,01840	0,01793	0,02635
491	0,01933	0,01833	0,01786	0,02627
492	0,019255	0,01826	0,01779	0,02618
493	0,01918	0,01819	0,01772	0,02609
494	0,019105	0,01812	0,01765	0,02601
495	0,019031	0,01805	0,01759	0,02592
496	0,018956	0,01798	0,01752	0,02583
497	0,018882	0,01792	0,01745	0,02575
498	0,018807	0,01785	0,01738	0,02566
499	0,018733	0,01778	0,01731	0,02558
500	0,01866	0,01771	0,01725	0,02549
501	0,018585	0,01764	0,01718	0,02541
502	0,018512	0,01758	0,01711	0,02532
503	0,018438	0,01751	0,01704	0,02524
504	0,018365	0,01744	0,01698	0,02515
505	0,018292	0,01737	0,01691	0,02507
506	0,018218	0,01731	0,01684	0,02498
507	0,018145	0,01724	0,01678	0,02490
508	0,018073	0,01717	0,01671	0,02481
509	0,018	0,01711	0,01665	0,02473
510	0,01793	0,01704	0,01658	0,02465
511	0,017855	0,01697	0,01651	0,02456
512	0,017783	0,01691	0,01645	0,02448
513	0,01771	0,01684	0,01638	0,02440
514	0,017638	0,01677	0,01632	0,02431
515	0,017566	0,01671	0,01625	0,02423
516	0,017495	0,01664	0,01618	0,02415
517	0,017423	0,01658	0,01612	0,02406
518	0,017352	0,01651	0,01605	0,02398
519	0,01728	0,01645	0,01599	0,02390
520	0,01721	0,01638	0,01592	0,02382
521	0,017138	0,01632	0,01586	0,02373
522	0,017067	0,01625	0,01579	0,02365
523	0,016996	0,01619	0,01573	0,02357
524	0,016926	0,01612	0,01567	0,02349
525	0,016855	0,01606	0,01560	0,02341
526	0,016785	0,01599	0,01554	0,02333

Продовження таблиці А.1

527	0,016714	0,01593	0,01547	0,02324
528	0,016644	0,01586	0,01541	0,02316
529	0,016574	0,01580	0,01535	0,02308
530	0,01650	0,01573	0,01528	0,02300
531	0,016435	0,01567	0,01522	0,02292
532	0,016365	0,01561	0,01516	0,02284
533	0,016296	0,01554	0,01509	0,02276
534	0,016226	0,01548	0,01503	0,02268
535	0,016157	0,01541	0,01497	0,02260
536	0,016088	0,01535	0,01490	0,02252
537	0,016019	0,01529	0,01484	0,02244
538	0,01595	0,01523	0,01478	0,02236
539	0,015881	0,01516	0,01471	0,02228
540	0,01581	0,01510	0,01465	0,02220
541	0,015744	0,01504	0,01459	0,02212
542	0,015676	0,01497	0,01453	0,02205
543	0,015608	0,01491	0,01446	0,02197
544	0,01554	0,01485	0,01440	0,02189
545	0,015472	0,01479	0,01434	0,02181
546	0,015404	0,01472	0,01428	0,02173
547	0,015336	0,01466	0,01422	0,02165
548	0,015269	0,01460	0,01416	0,02158
549	0,015201	0,01454	0,01409	0,02150
550	0,01513	0,01448	0,01403	0,02142
551	0,015067	0,01441	0,01397	0,02134
552	0,015	0,01435	0,01391	0,02126
553	0,014933	0,01429	0,01385	0,02119
554	0,014866	0,01423	0,01379	0,02111
555	0,014799	0,01417	0,01373	0,02103
556	0,014733	0,01411	0,01367	0,02096
557	0,014666	0,01405	0,01361	0,02088
558	0,0146	0,01399	0,01355	0,02080
559	0,014534	0,01393	0,01349	0,02073
560	0,01447	0,01386	0,01343	0,02065
561	0,014402	0,01380	0,01337	0,02057
562	0,014336	0,01374	0,01331	0,02050
563	0,01427	0,01368	0,01325	0,02042
564	0,014204	0,01362	0,01319	0,02035
565	0,014139	0,01356	0,01313	0,02027
566	0,014074	0,01350	0,01307	0,02020
567	0,014008	0,01344	0,01301	0,02012
568	0,013943	0,01338	0,01295	0,02005
569	0,013878	0,01332	0,01289	0,01997
570	0,01381	0,01326	0,01283	0,01990

Продовження таблиці А.1

571	0,013748	0,01320	0,01277	0,01982
572	0,013684	0,01315	0,01271	0,01975
573	0,013619	0,01309	0,01265	0,01967
574	0,013555	0,01303	0,01259	0,01960
575	0,01349	0,01297	0,01253	0,01952
576	0,013426	0,01291	0,01248	0,01945
577	0,013362	0,01285	0,01242	0,01937
578	0,013298	0,01279	0,01236	0,01930
579	0,013234	0,01273	0,01230	0,01923
580	0,01317	0,01267	0,01224	0,01915
581	0,013107	0,01262	0,01218	0,01908
582	0,013043	0,01256	0,01213	0,01901
583	0,01298	0,01250	0,01207	0,01893
584	0,012917	0,01244	0,01201	0,01886
585	0,012854	0,01238	0,01195	0,01879
586	0,012791	0,01233	0,01190	0,01872
587	0,012728	0,01227	0,01184	0,01864
588	0,012665	0,01221	0,01178	0,01857
589	0,012602	0,01215	0,01172	0,01850
590	0,01254	0,01210	0,01167	0,01843
591	0,012477	0,01204	0,01161	0,01835
592	0,012415	0,01198	0,01155	0,01828
593	0,012352	0,01192	0,01150	0,01821
594	0,01229	0,01187	0,01144	0,01814
595	0,012228	0,01181	0,01138	0,01807
596	0,012166	0,01175	0,01133	0,01799
597	0,012104	0,01170	0,01127	0,01792
598	0,012043	0,01164	0,01121	0,01785
599	0,011981	0,01158	0,01116	0,01778
600	0,01192	0,01153	0,01110	0,01771
601	0,011858	0,01147	0,01105	0,01764
602	0,011797	0,01141	0,01099	0,01757
603	0,011736	0,01136	0,01093	0,01750
604	0,011674	0,01130	0,01088	0,01743
605	0,011613	0,01125	0,01082	0,01736
606	0,011553	0,01119	0,01077	0,01729
607	0,011492	0,01113	0,01071	0,01722
608	0,011431	0,01108	0,01066	0,01715
609	0,011371	0,01102	0,01060	0,01708
610	0,01131	0,01097	0,01055	0,01701
611	0,01125	0,01091	0,01049	0,01694
612	0,01119	0,01086	0,01044	0,01687
613	0,01113	0,01080	0,01038	0,01680
614	0,011069	0,01075	0,01033	0,01673

Продовження таблиці А.1

615	0,01101	0,01069	0,01027	0,01666
616	0,01095	0,01064	0,01022	0,01659
617	0,01089	0,01058	0,01016	0,01652
618	0,01083	0,01053	0,01011	0,01645
619	0,010771	0,01047	0,01006	0,01639
620	0,01071	0,01042	0,01000	0,01632
621	0,010652	0,01036	0,00995	0,01625
622	0,010593	0,01031	0,00989	0,01618
623	0,010534	0,01025	0,00984	0,01611
624	0,010475	0,01020	0,00979	0,01604
625	0,010416	0,01015	0,00973	0,01598
626	0,010357	0,01009	0,00968	0,01591
627	0,010299	0,01004	0,00962	0,01584
628	0,01024	0,00999	0,00957	0,01577
629	0,010182	0,00993	0,00952	0,01571
630	0,01012	0,00988	0,00946	0,01564
631	0,010065	0,00982	0,00941	0,01557
632	0,010007	0,00977	0,00936	0,01550
633	0,009949	0,00972	0,00931	0,01544
634	0,009891	0,00966	0,00925	0,01537
635	0,009833	0,00961	0,00920	0,01530
636	0,009775	0,00956	0,00915	0,01524
637	0,009717	0,00951	0,00909	0,01517
638	0,00966	0,00945	0,00904	0,01510
639	0,009602	0,00940	0,00899	0,01504
640	0,00954	0,00935	0,00894	0,01497
641	0,009488	0,00929	0,00889	0,01490
642	0,00943	0,00924	0,00883	0,01484
643	0,009373	0,00919	0,00878	0,01477
644	0,009316	0,00914	0,00873	0,01471
645	0,009259	0,00909	0,00868	0,01464
646	0,009203	0,00903	0,00863	0,01458
647	0,009146	0,00898	0,00857	0,01451
648	0,009089	0,00893	0,00852	0,01445
649	0,009033	0,00888	0,00847	0,01438
650	0,00898	0,00883	0,00842	0,01432
651	0,00892	0,00877	0,00837	0,01425
652	0,008864	0,00872	0,00832	0,01419
653	0,008808	0,00867	0,00827	0,01412
654	0,008752	0,00862	0,00821	0,01406
655	0,008696	0,00857	0,00816	0,01399
656	0,00864	0,00852	0,00811	0,01393
657	0,008584	0,00847	0,00806	0,01386
658	0,008528	0,00841	0,00801	0,01380

Продовження таблиці А.1

659	0,008473	0,00836	0,00796	0,01373
660	0,00842	0,00831	0,00791	0,01367
661	0,008362	0,00826	0,00786	0,01361
662	0,008307	0,00821	0,00781	0,01354
663	0,008251	0,00816	0,00776	0,01348
664	0,008196	0,00811	0,00771	0,01342
665	0,008141	0,00806	0,00766	0,01335
666	0,008086	0,00801	0,00761	0,01329
667	0,008031	0,00796	0,00756	0,01323
668	0,007977	0,00791	0,00751	0,01316
669	0,007922	0,00786	0,00746	0,01310
670	0,00787	0,00781	0,00741	0,01304
671	0,007813	0,00776	0,00736	0,01297
672	0,007759	0,00771	0,00731	0,01291
673	0,007704	0,00766	0,00726	0,01285
674	0,00765	0,00761	0,00721	0,01279
675	0,007596	0,00756	0,00716	0,01272
676	0,007542	0,00751	0,00711	0,01266
677	0,007488	0,00746	0,00706	0,01260
678	0,007434	0,00741	0,00701	0,01254
679	0,00738	0,00736	0,00696	0,01248
680	0,00733	0,00731	0,00692	0,01241
681	0,007273	0,00726	0,00687	0,01235
682	0,00722	0,00721	0,00682	0,01229
683	0,007166	0,00716	0,00677	0,01223
684	0,007113	0,00712	0,00672	0,01217
685	0,00706	0,00707	0,00667	0,01211
686	0,007007	0,00702	0,00662	0,01204
687	0,006953	0,00697	0,00658	0,01198
688	0,006901	0,00692	0,00653	0,01192
689	0,006848	0,00687	0,00648	0,01186
690	0,00679	0,00682	0,00643	0,01180
691	0,006742	0,00678	0,00638	0,01174
692	0,006689	0,00673	0,00633	0,01168
693	0,006637	0,00668	0,00629	0,01162
694	0,006585	0,00663	0,00624	0,01156
695	0,006532	0,00658	0,00619	0,01150
696	0,00648	0,00653	0,00614	0,01144
697	0,006428	0,00649	0,00610	0,01138
698	0,006376	0,00644	0,00605	0,01132
699	0,006323	0,00639	0,00600	0,01126
700	0,00627	0,00634	0,00595	0,01119

Таблиця А.2 – Температура зовнішньої поверхні цеоліту з розв’язку математичної моделі

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>time</b>	<b>T4</b>
283	283	283	0	283
295	295	295	1	295
301	301	301	2	301
304	304	305	3	304
307	307	308	4	307
309	309	311	5	309
311	311	313	6	311
313	313	314	7	313
314	314	316	8	314
315	315	317	9	315
316	316	318	10	316
317	317	319	11	317
318	318	320	12	318
319	319	321	13	319
320	320	322	14	320
321	321	323	15	321
321	321	323	16	321
322	322	324	17	322
323	323	325	18	323
323	323	325	19	323
324	324	326	20	324
324	324	326	21	324
325	325	327	22	325
325	325	327	23	325
326	326	328	24	326
326	326	328	25	326
326	326	329	26	327
327	327	329	27	327
327	327	329	28	327
328	328	330	29	328
328	328	330	30	328
328	328	330	31	328
329	329	331	32	329
329	329	331	33	329
329	329	331	34	329
329	329	332	35	330
330	330	332	36	330
330	330	332	37	330
330	330	333	38	330
331	331	333	39	331
331	331	333	40	331
331	331	333	41	331



Продовження таблиці А.2

331	331	334	42	331
332	332	334	43	332
332	332	334	44	332
332	332	334	45	332
332	332	335	46	332
332	332	335	47	333
333	333	335	48	333
333	333	335	49	333
333	333	335	50	333
333	333	336	51	333
333	333	336	52	334
334	334	336	53	334
334	334	336	54	334
334	334	336	55	334
334	334	337	56	334
334	334	337	57	335
334	334	337	58	335
335	335	337	59	335
335	335	337	60	335
335	335	337	61	335
335	335	338	62	335
335	335	338	63	336
335	335	338	64	336
335	335	338	65	336
336	336	338	66	336
336	336	338	67	336
336	336	339	68	336
336	336	339	69	336
336	336	339	70	337
336	336	339	71	337
336	336	339	72	337
337	337	339	73	337
337	337	339	74	337
337	337	339	75	337
337	337	340	76	337
337	337	340	77	337
337	337	340	78	338
337	337	340	79	338
337	337	340	80	338
337	337	340	81	338
338	338	340	82	338
338	338	340	83	338
338	338	340	84	338
338	338	341	85	338

Продовження таблиці А.2

338	338	341	86	339
338	338	341	87	339
338	338	341	88	339
338	338	341	89	339
338	338	341	90	339
338	338	341	91	339
339	339	341	92	339
339	339	341	93	339
339	339	341	94	339
339	339	342	95	339
339	339	342	96	339
339	339	342	97	340
339	339	342	98	340
339	339	342	99	340
339	339	342	100	340
339	339	342	101	340
339	339	342	102	340
339	339	342	103	340
340	340	342	104	340
340	340	342	105	340
340	340	342	106	340
340	340	343	107	340
340	340	343	108	341
340	340	343	109	341
340	340	343	110	341
340	340	343	111	341
340	340	343	112	341
340	340	343	113	341
340	340	343	114	341
340	340	343	115	341
340	340	343	116	341
340	340	343	117	341
341	341	343	118	341
341	341	343	119	341
341	341	343	120	341
341	341	343	121	341
341	341	344	122	342
341	341	344	123	342
341	341	344	124	342
341	341	344	125	342
341	341	344	126	342
341	341	344	127	342
341	341	344	128	342
341	341	344	129	342

Продовження таблиці А.2

341	341	344	130	342
341	341	344	131	342
341	341	344	132	342
341	341	344	133	342
341	341	344	134	342
341	341	344	135	342
342	342	344	136	342
342	342	344	137	342
342	342	344	138	343
342	342	344	139	343
342	342	345	140	343
342	342	345	141	343
342	342	345	142	343
342	342	345	143	343
342	342	345	144	343
342	342	345	145	343
342	342	345	146	343
342	342	345	147	343
342	342	345	148	343
342	342	345	149	343
342	342	345	150	343
342	342	345	151	343
342	342	345	152	343
342	342	345	153	343
342	342	345	154	343
342	342	345	155	343
342	342	345	156	343
342	342	345	157	343
342	342	345	158	344
343	343	345	159	344
343	343	345	160	344
343	343	345	161	344
343	343	346	162	344
343	343	346	163	344
343	343	346	164	344
343	343	346	165	344
343	343	346	166	344
343	343	346	167	344
343	343	346	168	344
343	343	346	169	344
343	343	346	170	344
343	343	346	171	344
343	343	346	172	344
343	343	346	173	344

Продовження таблиці А.2

343	343	346	174	344
343	343	346	175	344
343	343	346	176	344
343	343	346	177	344
343	343	346	178	344
343	343	346	179	344
343	344	347	180	344
344	344	347	181	344
344	344	347	182	344
344	344	347	183	344
344	344	347	184	345
344	344	347	185	345
344	344	347	186	345
344	344	347	187	345
344	344	347	188	345
344	344	347	189	345
344	344	347	190	345
344	344	347	191	345
344	344	347	192	345
344	344	347	193	345
344	344	347	194	345
344	344	348	195	345
344	344	348	196	345
344	344	348	197	345
345	345	348	198	345
345	345	348	199	345
345	345	348	200	345
345	345	348	201	345
345	345	348	202	345
345	345	348	203	345
345	345	348	204	345
345	345	348	205	345
345	345	348	206	345
345	345	349	207	345
345	345	349	208	345
345	345	349	209	345
345	345	349	210	345
345	346	349	211	345
346	346	349	212	345
346	346	349	213	345
346	346	349	214	346
346	346	349	215	346
346	346	349	216	346
346	346	350	217	346

Продовження таблиці А.2

346	346	350	218	346
346	346	350	219	346
346	346	350	220	346
346	346	350	221	346
346	347	350	222	346
346	347	350	223	346
347	347	350	224	346
347	347	351	225	346
347	347	351	226	346
347	347	351	227	346
347	347	351	228	346
347	347	351	229	346
347	347	351	230	346
347	348	351	231	346
347	348	352	232	346
348	348	352	233	346
348	348	352	234	346
348	348	352	235	346
348	348	352	236	346
348	348	352	237	346
348	349	353	238	347
348	349	353	239	347
349	349	353	240	347
349	349	353	241	347
349	349	354	242	347
349	349	354	243	347
349	350	354	244	347
349	350	355	245	347
350	350	355	246	347
350	350	355	247	347
350	351	356	248	347
350	351	356	249	347
351	351	357	250	347
351	352	357	251	347
351	352	357	252	347
352	353	358	253	347
352	353	358	254	347
352	353	359	255	347
353	354	359	256	347
353	354	360	257	348
353	355	360	258	348
354	355	360	259	348
354	355	361	260	348
354	356	361	261	348

Продовження таблиці А.2

355	356	362	262	348
355	357	362	263	348
355	357	363	264	348
356	357	363	265	348
356	358	364	266	348
356	358	365	267	348
357	359	365	268	348
357	359	366	269	348
357	360	366	270	349
358	360	367	271	349
358	360	367	272	349
358	361	368	273	349
358	361	368	274	349
359	362	369	275	349
359	362	370	276	349
359	363	370	277	349
360	363	371	278	349
360	364	371	279	350
360	364	372	280	350
360	364	373	281	350
361	365	373	282	350
361	365	374	283	350
361	366	374	284	350
361	366	375	285	350
362	366	375	286	351
362	367	376	287	351
362	367	376	288	351
362	367	377	289	351
363	368	377	290	352
363	368	378	291	352
363	368	378	292	353
363	368	379	293	353
363	369	379	294	353
363	369	379	295	353
364	369	380	296	354
364	369	380	297	354
364	370	380	298	354
364	370	381	299	354
364	370	381	300	355
364	370	381	301	355
364	370	381	302	355
365	371	382	303	355
365	371	382	304	355
365	371	382	305	355

Продовження таблиці А.2

365	371	382	306	356
365	371	382	307	356
365	371	383	308	356
365	372	383	309	356
365	372	383	310	356
365	372	383	311	356
366	372	383	312	356
366	372	383	313	356
366	372	384	314	357
366	372	384	315	357
366	372	384	316	357
366	373	384	317	357
366	373	384	318	357
366	373	384	319	357
366	373	384	320	357
366	373	384	321	357
366	373	384	322	357
366	373	385	323	358
366	373	385	324	358
367	373	385	325	358
367	373	385	326	358
367	373	385	327	358
367	373	385	328	358
367	373	385	329	358
367	374	385	330	358
367	374	385	331	358
367	374	385	332	358
367	374	385	333	358
367	374	385	334	358
367	374	385	335	359
367	374	386	336	359
367	374	386	337	359
367	374	386	338	359
367	374	386	339	359
367	374	386	340	359
367	374	386	341	359
367	374	386	342	359
367	374	386	343	359
367	374	386	344	359
367	374	386	345	359
368	374	386	346	359
368	374	386	347	359
368	374	386	348	360
368	374	386	349	360

Продовження таблиці А.2

368	375	386	350	360
368	375	386	351	360
368	375	386	352	360
368	375	386	353	360
368	375	386	354	360
368	375	386	355	360
368	375	386	356	360
368	375	386	357	360
368	375	386	358	360
368	375	386	359	360
368	375	386	360	360
368	375	387	361	360
368	375	387	362	360
368	375	387	363	361
368	375	387	364	361
368	375	387	365	361
368	375	387	366	361
368	375	387	367	361
368	375	387	368	361
368	375	387	369	361
368	375	387	370	361
368	375	387	371	361
368	375	387	372	361
368	375	387	373	361
368	375	387	374	361
368	375	387	375	361
368	375	387	376	361
368	375	387	377	361
368	375	387	378	361
368	375	387	379	361
368	375	387	380	362
368	375	387	381	362
368	375	387	382	362
368	375	387	383	362
368	375	387	384	362
368	375	387	385	362
368	375	387	386	362
368	375	387	387	362
369	375	387	388	362
369	375	387	389	362
369	375	387	390	362
369	375	387	391	362
369	375	387	392	362
369	375	387	393	362



Продовження таблиці А.2

369	376	387	394	362
369	376	387	395	362
369	376	387	396	362
369	376	387	397	362
369	376	387	398	362
369	376	387	399	362
369	376	387	400	362
369	376	387	401	362
369	376	387	402	362
369	376	387	403	363
369	376	387	404	363
369	376	387	405	363
369	376	387	406	363
369	376	387	407	363
369	376	387	408	363
369	376	387	409	363
369	376	387	410	363
369	376	387	411	363
369	376	387	412	363
369	376	387	413	363
369	376	387	414	363
369	376	387	415	363
369	376	387	416	363
369	376	387	417	363
369	376	387	418	363
369	376	387	419	363
369	376	387	420	363
369	376	387	421	363
369	376	388	422	363
369	376	388	423	363
369	376	388	424	363
369	376	388	425	363
369	376	388	426	363
369	376	388	427	363
369	376	388	428	363
369	376	388	429	363
369	376	388	430	363
369	376	388	431	363
369	376	388	432	363
369	376	388	433	363
369	376	388	434	363
369	376	388	435	363
369	376	388	436	363
369	376	388	437	364

Продовження таблиці А.2

369	376	388	438	364
369	376	388	439	364
369	376	388	440	364
369	376	388	441	364
369	376	388	442	364
369	376	388	443	364
369	376	388	444	364
369	376	388	445	364
369	376	388	446	364
369	376	388	447	364
369	376	388	448	364
369	376	388	449	364
369	376	388	450	364
369	376	388	451	364
369	376	388	452	364
369	376	388	453	364
369	376	388	454	364
369	376	388	455	364
369	376	388	456	364
369	376	388	457	364
369	376	388	458	364
369	376	388	459	364
369	376	388	460	364
369	376	388	461	364
369	376	388	462	364
369	376	388	463	364
369	376	388	464	364
369	376	388	465	364
369	376	388	466	364
369	376	388	467	364
369	376	388	468	364
369	376	388	469	364
369	376	388	470	364
369	376	388	471	364
369	376	388	472	364
369	376	388	473	364
369	376	388	474	364
369	376	388	475	364
369	376	388	476	364
369	376	388	477	364
369	376	388	478	364
369	376	388	479	364
369	376	388	480	364
369	376	388	481	364

Продовження таблиці А.2

369	376	388	482	364
369	376	388	483	364
369	376	388	484	364
369	376	388	485	364
369	376	388	486	364
369	376	388	487	364
369	376	388	488	364
369	376	388	489	364
369	376	388	490	364
369	376	388	491	364
369	376	388	492	364
369	376	388	493	364
369	376	388	494	364
369	376	388	495	364
369	376	388	496	364
369	376	388	497	364
369	376	388	498	364
369	376	388	499	364
369	376	388	500	364
369	376	388	501	364
369	376	388	502	364
369	376	388	503	364
369	376	388	504	364
369	376	388	505	364
369	376	388	506	364
369	376	388	507	364
369	376	388	508	364
369	376	388	509	364
369	376	388	510	364
369	376	388	511	364
369	376	388	512	364
369	376	388	513	365
369	376	388	514	365
369	376	388	515	365
369	376	388	516	365
369	376	388	517	365
369	376	388	518	365
369	376	388	519	365
369	376	388	520	365
369	376	388	521	365
369	376	388	522	365
369	376	388	523	365
369	376	388	524	365
369	376	388	525	365

Продовження таблиці А.2

369	376	388	526	365
369	376	388	527	365
369	376	388	528	365
369	376	388	529	365
369	376	388	530	365
369	376	388	531	365
369	376	388	532	365
369	376	388	533	365
369	376	388	534	365
369	376	388	535	365
369	376	388	536	365
369	376	388	537	365
369	376	388	538	365
369	376	388	539	365
369	376	388	540	365
369	376	388	541	365
369	376	388	542	365
369	376	388	543	365
369	376	388	544	365
369	376	388	545	365
369	376	388	546	365
369	376	388	547	365
369	376	388	548	365
369	376	388	549	365
369	376	388	550	365
369	376	388	551	365
369	376	388	552	365
369	376	388	553	365
369	376	388	554	365
369	376	388	555	365
369	376	388	556	365
369	376	388	557	365
369	376	388	558	365
369	376	388	559	365
369	376	388	560	365
369	376	388	561	365
369	376	388	562	365
369	376	388	563	365
369	376	388	564	365
369	376	388	565	365
369	376	388	566	365
369	376	388	567	365
369	376	388	568	365
369	376	388	569	365

Продовження таблиці А.2

369	376	388	570	365
369	376	388	571	365
369	376	388	572	365
369	376	388	573	365
369	376	388	574	365
369	376	388	575	365
369	376	388	576	365
369	376	388	577	365
369	376	388	578	365
369	376	388	579	365
369	376	388	580	365
369	376	388	581	365
369	376	388	582	365
369	376	388	583	365
369	376	388	584	365
369	376	388	585	365
369	376	388	586	365
369	376	388	587	365
369	376	388	588	365
369	376	388	589	365
369	376	388	590	365
369	376	388	591	365
369	376	388	592	365
369	376	388	593	365
369	376	388	594	365
369	376	388	595	365
369	376	388	596	365
369	376	388	597	365
369	376	388	598	365
369	376	388	599	365
369	376	388	600	365
370	376	388	601	365
370	376	388	602	365
370	376	388	603	365
370	376	388	604	365
370	376	388	605	365
370	376	388	606	365
370	376	388	607	365
370	376	388	608	365
370	376	388	609	365
370	376	388	610	365
370	376	388	611	365
370	376	388	612	365
370	376	388	613	365

Продовження таблиці А.2

370	376	388	614	365
370	376	388	615	365
370	376	388	616	365
370	376	388	617	365
370	376	388	618	365
370	376	388	619	365
370	376	388	620	365
370	376	388	621	365
370	376	388	622	365
370	376	388	623	365
370	376	388	624	365
370	376	388	625	365
370	376	388	626	365
370	376	388	627	365
370	376	388	628	365
370	376	388	629	365
370	376	388	630	365
370	376	388	631	365
370	376	388	632	365
370	376	388	633	365
370	376	388	634	365
370	376	388	635	365
370	376	388	636	365
370	376	388	637	365
370	376	388	638	365
370	376	388	639	365
370	376	388	640	365
370	376	388	641	365
370	376	388	642	365
370	376	388	643	365
370	376	388	644	365
370	376	388	645	365
370	376	388	646	365
370	376	388	647	365
370	376	388	648	365
370	376	388	649	365
370	376	388	650	365
370	376	388	651	365
370	376	388	652	365
370	376	388	653	365
370	376	388	654	365
370	376	388	655	365
370	376	388	656	365
370	376	388	657	365

Продовження таблиці А.2

370	376	388	658	365
370	376	388	659	365
370	376	388	660	365
370	376	388	661	365
370	376	388	662	365
370	376	388	663	365
370	376	388	664	365
370	376	388	665	365
370	376	388	666	365
370	376	388	667	365
370	376	388	668	365
370	376	388	669	365
370	376	388	670	365
370	376	388	671	365
370	376	388	672	365
370	376	388	673	365
370	376	388	674	365
370	376	388	675	365
370	376	388	676	365
370	376	388	677	365
370	376	388	678	365
370	376	388	679	365
370	376	388	680	365
370	376	388	681	365
370	376	388	682	365
370	377	388	683	365
370	377	388	684	365
370	377	388	685	365
370	377	388	686	365
370	377	388	687	365
370	377	388	688	365
370	377	388	689	365
370	377	388	690	365
370	377	388	691	365
370	377	388	692	365
370	377	388	693	365
370	377	388	694	365
370	377	388	695	365
370	377	388	696	365
370	377	388	697	365
370	377	388	698	365
370	377	388	699	365
370	377	388	700	365

## **Додаток Б. Результати експериментів**



Таблиця Б.1 – Результати експерименту 1 – вологоміст

Відлік часу	Маса	Час сушіння	Вологовміст
00:10:27	17,294	0	0,29300935
00:10:28	17,291	1	0,29278505
00:10:29	17,284	2	0,29226168
00:10:30	17,274	3	0,29151402
00:10:31	17,262	4	0,29061682
00:10:32	17,253	5	0,28994393
00:10:33	17,249	6	0,28964486
00:10:34	17,232	7	0,28837383
00:10:35	17,21	8	0,28672897
00:10:36	17,201	9	0,28605607
00:10:37	17,178	10	0,28433645
00:10:38	17,175	11	0,28411215
00:10:39	17,148	12	0,28209346
00:10:40	17,134	13	0,28104673
00:10:41	17,114	14	0,2795514
00:10:42	17,108	15	0,2791028
00:10:43	17,075	16	0,27663551
00:10:44	17,041	17	0,27409346
00:10:45	17,027	18	0,27304673
00:10:46	16,997	19	0,27080374
00:10:47	16,975	20	0,26915888
00:10:48	16,936	21	0,26624299
00:10:49	16,917	22	0,26482243
00:10:50	16,885	23	0,26242991
00:10:51	16,861	24	0,26063551
00:10:52	16,822	25	0,25771963
00:10:53	16,795	26	0,25570093
00:10:54	16,754	27	0,25263551
00:10:55	16,721	28	0,25016822
00:10:56	16,696	29	0,24829907
00:10:57	16,654	30	0,24515888
00:10:58	16,63	31	0,24336449
00:10:59	16,592	32	0,24052336
00:11:00	16,566	33	0,23857944
00:11:01	16,524	34	0,23543925
00:11:02	16,498	35	0,23349533
00:11:03	16,452	36	0,23005607
00:11:04	16,41	37	0,22691589
00:11:05	16,384	38	0,22497196
00:11:06	16,333	39	0,22115888
00:11:07	16,311	40	0,21951402
00:11:08	16,263	41	0,21592523
00:11:09	16,244	42	0,21450467
00:11:10	16,205	43	0,21158879
00:11:11	16,166	44	0,2086729
00:11:12	16,138	45	0,20657944
00:11:13	16,11	46	0,20448598
00:11:14	16,075	47	0,20186916

Продовження таблиці Б.1

00:11:15	16,038	48	0,1991028
00:11:16	16,001	49	0,19633645
00:11:17	15,981	50	0,19484112
00:11:18	15,939	51	0,19170093
00:11:19	15,894	52	0,18833645
00:11:20	15,87	53	0,18654206
00:11:21	15,832	54	0,18370093
00:11:22	15,805	55	0,18168224
00:11:23	15,772	56	0,17921495
00:11:24	15,738	57	0,1766729
00:11:25	15,703	58	0,17405607
00:11:26	15,68	59	0,17233645
00:11:27	15,644	60	0,16964486
00:11:28	15,61	61	0,1671028
00:11:29	15,587	62	0,16538318
00:11:30	15,551	63	0,16269159
00:11:31	15,526	64	0,16082243
00:11:32	15,491	65	0,15820561
00:11:33	15,466	66	0,15633645
00:11:34	15,426	67	0,15334579
00:11:35	15,41	68	0,15214953
00:11:36	15,378	69	0,14975701
00:11:37	15,35	70	0,14766355
00:11:38	15,319	71	0,14534579
00:11:39	15,284	72	0,14272897
00:11:40	15,26	73	0,14093458
00:11:41	15,232	74	0,13884112
00:11:42	15,212	75	0,13734579
00:11:43	15,184	76	0,13525234
00:11:44	15,163	77	0,13368224
00:11:45	15,131	78	0,13128972
00:11:46	15,112	79	0,12986916
00:11:47	15,079	80	0,12740187
00:11:48	15,054	81	0,12553271
00:11:49	15,028	82	0,12358879
00:11:50	15,002	83	0,12164486
00:11:51	14,982	84	0,12014953
00:11:52	14,957	85	0,11828037
00:11:53	14,933	86	0,11648598
00:11:54	14,901	87	0,11409346
00:11:55	14,881	88	0,11259813
00:11:56	14,851	89	0,11035514
00:11:57	14,838	90	0,10938318
00:11:58	14,809	91	0,10721495
00:11:59	14,8	92	0,10654206
00:12:00	14,772	93	0,1044486
00:12:01	14,76	94	0,1035514
00:12:02	14,734	95	0,10160748
00:12:03	14,704	96	0,09936449

Продовження таблиці Б.1

00:12:04	14,692	97	0,09846729
00:12:05	14,668	98	0,0966729
00:12:06	14,652	99	0,09547664
00:12:07	14,624	100	0,09338318
00:12:08	14,609	101	0,09226168
00:12:09	14,593	102	0,09106542
00:12:10	14,577	103	0,08986916
00:12:11	14,556	104	0,08829907
00:12:12	14,541	105	0,08717757
00:12:13	14,521	106	0,08568224
00:12:14	14,496	107	0,08381308
00:12:15	14,484	108	0,08291589
00:12:16	14,467	109	0,08164486
00:12:17	14,455	110	0,08074766
00:12:18	14,431	111	0,07895327
00:12:19	14,417	112	0,07790654
00:12:20	14,405	113	0,07700935
00:12:21	14,394	114	0,07618692
00:12:22	14,37	115	0,07439252
00:12:23	14,366	116	0,07409346
00:12:24	14,344	117	0,0724486
00:12:25	14,332	118	0,0715514
00:12:26	14,318	119	0,07050467
00:12:27	14,299	120	0,06908411
00:12:28	14,292	121	0,06856075
00:12:29	14,272	122	0,06706542
00:12:30	14,261	123	0,06624299
00:12:31	14,24	124	0,0646729
00:12:32	14,228	125	0,0637757
00:12:33	14,217	126	0,06295327
00:12:34	14,214	127	0,06272897
00:12:35	14,2	128	0,06168224
00:12:36	14,192	129	0,06108411
00:12:37	14,179	130	0,06011215
00:12:38	14,163	131	0,05891589
00:12:39	14,149	132	0,05786916
00:12:40	14,141	133	0,05727103
00:12:41	14,134	134	0,05674766
00:12:42	14,122	135	0,05585047
00:12:43	14,115	136	0,0553271
00:12:44	14,103	137	0,05442991
00:12:45	14,095	138	0,05383178
00:12:46	14,085	139	0,05308411
00:12:47	14,075	140	0,05233645
00:12:48	14,058	141	0,05106542
00:12:49	14,051	142	0,05054206
00:12:50	14,042	143	0,04986916
00:12:51	14,032	144	0,0491215
00:12:52	14,024	145	0,04852336

Продовження таблиці Б.1

00:12:53	14,018	146	0,04807477
00:12:54	14,006	147	0,04717757
00:12:55	13,999	148	0,04665421
00:12:56	13,988	149	0,04583178
00:12:57	13,98	150	0,04523364
00:12:58	13,981	151	0,04530841
00:12:59	13,965	152	0,04411215
00:13:00	13,956	153	0,04343925
00:13:01	13,952	154	0,04314019
00:13:02	13,941	155	0,04231776
00:13:03	13,939	156	0,04216822
00:13:04	13,931	157	0,04157009
00:13:05	13,923	158	0,04097196
00:13:06	13,908	159	0,03985047
00:13:07	13,901	160	0,0393271
00:13:08	13,897	161	0,03902804
00:13:09	13,891	162	0,03857944
00:13:10	13,887	163	0,03828037
00:13:11	13,881	164	0,03783178
00:13:12	13,87	165	0,03700935
00:13:13	13,866	166	0,03671028
00:13:14	13,86	167	0,03626168
00:13:15	13,85	168	0,03551402
00:13:16	13,845	169	0,03514019
00:13:17	13,843	170	0,03499065
00:13:18	13,834	171	0,03431776
00:13:19	13,831	172	0,03409346
00:13:20	13,825	173	0,03364486
00:13:21	13,81	174	0,03252336
00:13:22	13,81	175	0,03252336
00:13:23	13,81	176	0,03252336
00:13:24	13,799	177	0,03170093
00:13:25	13,795	178	0,03140187
00:13:26	13,785	179	0,03065421
00:13:27	13,781	180	0,03035514
00:13:28	13,773	181	0,02975701
00:13:29	13,773	182	0,02975701
00:13:30	13,765	183	0,02915888
00:13:31	13,772	184	0,02968224
00:13:32	13,762	185	0,02893458
00:13:33	13,751	186	0,02811215
00:13:34	13,753	187	0,02826168
00:13:35	13,744	188	0,02758879
00:13:36	13,738	189	0,02714019
00:13:37	13,732	190	0,02669159
00:13:38	13,736	191	0,02699065
00:13:39	13,727	192	0,02631776
00:13:40	13,727	193	0,02631776
00:13:41	13,718	194	0,02564486

Продовження таблиці Б.1

00:13:42	13,721	195	0,02586916
00:13:43	13,707	196	0,02482243
00:13:44	13,71	197	0,02504673
00:13:45	13,698	198	0,02414953
00:13:46	13,7	199	0,02429907
00:13:47	13,695	200	0,02392523
00:13:48	13,689	201	0,02347664
00:13:49	13,684	202	0,0231028
00:13:50	13,682	203	0,02295327
00:13:51	13,677	204	0,02257944
00:13:52	13,675	205	0,02242991
00:13:53	13,671	206	0,02213084
00:13:54	13,662	207	0,02145794
00:13:55	13,667	208	0,02183178
00:13:56	13,661	209	0,02138318
00:13:57	13,659	210	0,02123364
00:13:58	13,653	211	0,02078505
00:13:59	13,644	212	0,02011215
00:14:00	13,647	213	0,02033645
00:14:01	13,64	214	0,01981308
00:14:02	13,649	215	0,02048598
00:14:03	13,636	216	0,01951402
00:14:04	13,633	217	0,01928972
00:14:05	13,636	218	0,01951402
00:14:06	13,623	219	0,01854206
00:14:07	13,622	220	0,01846729
00:14:08	13,62	221	0,01831776
00:14:09	13,615	222	0,01794393
00:14:10	13,615	223	0,01794393
00:14:11	13,615	224	0,01794393
00:14:12	13,614	225	0,01786916
00:14:13	13,605	226	0,01719626
00:14:14	13,603	227	0,01704673
00:14:15	13,608	228	0,01742056
00:14:16	13,604	229	0,0171215
00:14:17	13,598	230	0,0166729
00:14:18	13,604	231	0,0171215
00:14:19	13,592	232	0,0162243
00:14:20	13,597	233	0,01659813
00:14:21	13,592	234	0,0162243
00:14:22	13,586	235	0,0157757
00:14:23	13,585	236	0,01570093
00:14:24	13,592	237	0,0162243
00:14:25	13,575	238	0,01495327
00:14:26	13,583	239	0,0155514
00:14:27	13,579	240	0,01525234
00:14:28	13,574	241	0,0148785
00:14:29	13,569	242	0,01450467
00:14:30	13,565	243	0,01420561

Продовження таблиці Б.1

00:14:31	13,569	244	0,01450467
00:14:32	13,567	245	0,01435514
00:14:33	13,557	246	0,01360748
00:14:34	13,558	247	0,01368224
00:14:35	13,559	248	0,01375701
00:14:36	13,559	249	0,01375701
00:14:37	13,559	250	0,01375701
00:14:38	13,559	251	0,01375701
00:14:39	13,553	252	0,01330841
00:14:40	13,549	253	0,01300935
00:14:41	13,549	254	0,01300935
00:14:42	13,551	255	0,01315888
00:14:43	13,549	256	0,01300935
00:14:44	13,549	257	0,01300935
00:14:45	13,546	258	0,01278505
00:14:46	13,542	259	0,01248598
00:14:47	13,535	260	0,01196262
00:14:48	13,534	261	0,01188785
00:14:49	13,536	262	0,01203738
00:14:50	13,531	263	0,01166355
00:14:51	13,528	264	0,01143925
00:14:52	13,534	265	0,01188785
00:14:53	13,531	266	0,01166355
00:14:54	13,523	267	0,01106542
00:14:55	13,527	268	0,01136449
00:14:56	13,518	269	0,01069159
00:14:57	13,528	270	0,01143925
00:14:58	13,521	271	0,01091589
00:14:59	13,523	272	0,01106542
00:15:00	13,512	273	0,01024299
00:15:01	13,518	274	0,01069159
00:15:02	13,519	275	0,01076636
00:15:03	13,517	276	0,01061682
00:15:04	13,513	277	0,01031776
00:15:05	13,509	278	0,01001869
00:15:06	13,514	279	0,01039252
00:15:07	13,513	280	0,01031776
00:15:08	13,508	281	0,00994393
00:15:09	13,508	282	0,00994393
00:15:10	13,504	283	0,00964486
00:15:11	13,506	284	0,00979439
00:15:12	13,505	285	0,00971963
00:15:13	13,498	286	0,00919626
00:15:14	13,5	287	0,00934579
00:15:15	13,503	288	0,00957009
00:15:16	13,5	289	0,00934579
00:15:17	13,499	290	0,00927103
00:15:18	13,493	291	0,00882243
00:15:19	13,496	292	0,00904673

Продовження таблиці Б.1

00:15:20	13,497	293	0,0091215
00:15:21	13,494	294	0,0088972
00:15:22	13,484	295	0,00814953
00:15:23	13,488	296	0,0084486
00:15:24	13,491	297	0,0086729
00:15:25	13,491	298	0,0086729
00:15:26	13,487	299	0,00837383
00:15:27	13,494	300	0,0088972
00:15:28	13,485	301	0,0082243
00:15:29	13,489	302	0,00852336
00:15:30	13,488	303	0,0084486
00:15:31	13,482	304	0,008
00:15:32	13,484	305	0,00814953
00:15:33	13,482	306	0,008
00:15:34	13,481	307	0,00792523
00:15:35	13,488	308	0,0084486
00:15:36	13,479	309	0,0077757
00:15:37	13,48	310	0,00785047
00:15:38	13,476	311	0,0075514
00:15:39	13,479	312	0,0077757
00:15:40	13,476	313	0,0075514
00:15:41	13,463	314	0,00657944
00:15:42	13,47	315	0,0071028
00:15:43	13,471	316	0,00717757
00:15:44	13,469	317	0,00702804
00:15:45	13,468	318	0,00695327
00:15:46	13,479	319	0,0077757
00:15:47	13,47	320	0,0071028
00:15:48	13,463	321	0,00657944
00:15:49	13,462	322	0,00650467
00:15:50	13,47	323	0,0071028
00:15:51	13,469	324	0,00702804
00:15:52	13,464	325	0,00665421
00:15:53	13,465	326	0,00672897
00:15:54	13,466	327	0,00680374
00:15:55	13,468	328	0,00695327
00:15:56	13,468	329	0,00695327
00:15:57	13,458	330	0,00620561
00:15:58	13,458	331	0,00620561
00:15:59	13,463	332	0,00657944
00:16:00	13,453	333	0,00583178
00:16:01	13,449	334	0,00553271
00:16:02	13,451	335	0,00568224
00:16:03	13,449	336	0,00553271
00:16:04	13,455	337	0,00598131
00:16:05	13,458	338	0,00620561
00:16:06	13,45	339	0,00560748
00:16:07	13,449	340	0,00553271
00:16:08	13,454	341	0,00590654

Продовження таблиці Б.1

00:16:09	13,459	342	0,00628037
00:16:10	13,448	343	0,00545794
00:16:11	13,444	344	0,00515888
00:16:12	13,457	345	0,00613084
00:16:13	13,453	346	0,00583178
00:16:14	13,45	347	0,00560748
00:16:15	13,448	348	0,00545794
00:16:16	13,448	349	0,00545794
00:16:17	13,444	350	0,00515888
00:16:18	13,441	351	0,00493458
00:16:19	13,447	352	0,00538318
00:16:20	13,444	353	0,00515888
00:16:21	13,449	354	0,00553271
00:16:22	13,444	355	0,00515888
00:16:23	13,445	356	0,00523364
00:16:24	13,45	357	0,00560748
00:16:25	13,446	358	0,00530841
00:16:26	13,453	359	0,00583178
00:16:27	13,449	360	0,00553271
00:16:28	13,444	361	0,00515888
00:16:29	13,443	362	0,00508411
00:16:30	13,449	363	0,00553271
00:16:31	13,44	364	0,00485981
00:16:32	13,444	365	0,00515888
00:16:33	13,44	366	0,00485981
00:16:34	13,449	367	0,00553271
00:16:35	13,445	368	0,00523364
00:16:36	13,446	369	0,00530841
00:16:37	13,441	370	0,00493458
00:16:38	13,444	371	0,00515888
00:16:39	13,441	372	0,00493458
00:16:40	13,434	373	0,00441121
00:16:41	13,436	374	0,00456075
00:16:42	13,437	375	0,00463551
00:16:43	13,436	376	0,00456075
00:16:44	13,436	377	0,00456075
00:16:45	13,433	378	0,00433645
00:16:46	13,44	379	0,00485981
00:16:47	13,439	380	0,00478505
00:16:48	13,435	381	0,00448598
00:16:49	13,427	382	0,00388785
00:16:50	13,432	383	0,00426168
00:16:51	13,431	384	0,00418692
00:16:52	13,431	385	0,00418692
00:16:53	13,427	386	0,00388785
00:16:54	13,428	387	0,00396262
00:16:55	13,43	388	0,00411215
00:16:56	13,438	389	0,00471028
00:16:57	13,432	390	0,00426168



Продовження таблиці Б.1

00:16:58	13,433	391	0,00433645
00:16:59	13,433	392	0,00433645
00:17:00	13,423	393	0,00358879
00:17:01	13,429	394	0,00403738
00:17:02	13,429	395	0,00403738
00:17:03	13,427	396	0,00388785
00:17:04	13,424	397	0,00366355
00:17:05	13,43	398	0,00411215
00:17:06	13,425	399	0,00373832
00:17:07	13,423	400	0,00358879
00:17:08	13,427	401	0,00388785
00:17:09	13,425	402	0,00373832
00:17:10	13,424	403	0,00366355
00:17:11	13,419	404	0,00328972
00:17:12	13,42	405	0,00336449
00:17:13	13,42	406	0,00336449
00:17:14	13,427	407	0,00388785
00:17:15	13,422	408	0,00351402
00:17:16	13,425	409	0,00373832
00:17:17	13,423	410	0,00358879
00:17:18	13,423	411	0,00358879
00:17:19	13,419	412	0,00328972
00:17:20	13,429	413	0,00403738
00:17:21	13,421	414	0,00343925
00:17:22	13,421	415	0,00343925
00:17:23	13,418	416	0,00321495
00:17:24	13,418	417	0,00321495
00:17:25	13,416	418	0,00306542
00:17:26	13,419	419	0,00328972
00:17:27	13,423	420	0,00358879
00:17:28	13,423	421	0,00358879
00:17:29	13,427	422	0,00388785
00:17:30	13,423	423	0,00358879
00:17:31	13,413	424	0,00284112
00:17:32	13,414	425	0,00291589
00:17:33	13,419	426	0,00328972
00:17:34	13,418	427	0,00321495
00:17:35	13,418	428	0,00321495
00:17:36	13,418	429	0,00321495
00:17:37	13,415	430	0,00299065
00:17:38	13,415	431	0,00299065
00:17:39	13,418	432	0,00321495
00:17:40	13,421	433	0,00343925
00:17:41	13,418	434	0,00321495
00:17:42	13,42	435	0,00336449
00:17:43	13,42	436	0,00336449
00:17:44	13,418	437	0,00321495
00:17:45	13,419	438	0,00328972
00:17:46	13,423	439	0,00358879

Продовження таблиці Б.1

00:17:47	13,415	440	0,00299065
00:17:48	13,414	441	0,00291589
00:17:49	13,414	442	0,00291589
00:17:50	13,414	443	0,00291589
00:17:51	13,409	444	0,00254206
00:17:52	13,397	445	0,00164486
00:17:53	13,414	446	0,00291589
00:17:54	13,414	447	0,00291589
00:17:55	13,412	448	0,00276636
00:17:56	13,418	449	0,00321495
00:17:57	13,416	450	0,00306542
00:17:58	13,414	451	0,00291589
00:17:59	13,412	452	0,00276636
00:18:00	13,424	453	0,00366355
00:18:01	13,414	454	0,00291589
00:18:02	13,417	455	0,00314019
00:18:03	13,415	456	0,00299065
00:18:04	13,414	457	0,00291589
00:18:05	13,416	458	0,00306542
00:18:06	13,413	459	0,00284112
00:18:07	13,413	460	0,00284112
00:18:08	13,412	461	0,00276636
00:18:09	13,414	462	0,00291589
00:18:10	13,411	463	0,00269159
00:18:11	13,41	464	0,00261682
00:18:12	13,41	465	0,00261682
00:18:13	13,414	466	0,00291589
00:18:14	13,41	467	0,00261682
00:18:15	13,414	468	0,00291589
00:18:16	13,413	469	0,00284112
00:18:17	13,41	470	0,00261682
00:18:18	13,407	471	0,00239252
00:18:19	13,405	472	0,00224299
00:18:20	13,405	473	0,00224299
00:18:21	13,412	474	0,00276636
00:18:22	13,413	475	0,00284112
00:18:23	13,41	476	0,00261682
00:18:24	13,41	477	0,00261682
00:18:25	13,405	478	0,00224299
00:18:26	13,412	479	0,00276636
00:18:27	13,408	480	0,00246729
00:18:28	13,411	481	0,00269159
00:18:29	13,409	482	0,00254206
00:18:30	13,409	483	0,00254206
00:18:31	13,397	484	0,00164486
00:18:32	13,413	485	0,00284112
00:18:33	13,407	486	0,00239252
00:18:34	13,405	487	0,00224299
00:18:35	13,408	488	0,00246729

Продовження таблиці Б.1

00:18:36	13,404	489	0,00216822
00:18:37	13,41	490	0,00261682
00:18:38	13,407	491	0,00239252
00:18:39	13,407	492	0,00239252
00:18:40	13,4	493	0,00186916
00:18:41	13,406	494	0,00231776
00:18:42	13,405	495	0,00224299
00:18:43	13,405	496	0,00224299
00:18:44	13,401	497	0,00194393
00:18:45	13,398	498	0,00171963
00:18:46	13,409	499	0,00254206
00:18:47	13,405	500	0,00224299
00:18:48	13,404	501	0,00216822
00:18:49	13,402	502	0,00201869
00:18:50	13,401	503	0,00194393
00:18:51	13,405	504	0,00224299
00:18:52	13,404	505	0,00216822
00:18:53	13,399	506	0,00179439
00:18:54	13,407	507	0,00239252
00:18:55	13,403	508	0,00209346
00:18:56	13,398	509	0,00171963
00:18:57	13,404	510	0,00216822
00:18:58	13,403	511	0,00209346
00:18:59	13,405	512	0,00224299
00:19:00	13,395	513	0,00149533
00:19:01	13,403	514	0,00209346
00:19:02	13,397	515	0,00164486
00:19:03	13,401	516	0,00194393
00:19:04	13,4	517	0,00186916
00:19:05	13,404	518	0,00216822
00:19:06	13,401	519	0,00194393
00:19:07	13,405	520	0,00224299
00:19:08	13,405	521	0,00224299
00:19:09	13,399	522	0,00179439
00:19:10	13,399	523	0,00179439
00:19:11	13,402	524	0,00201869
00:19:12	13,401	525	0,00194393
00:19:13	13,396	526	0,00157009
00:19:14	13,401	527	0,00194393
00:19:15	13,395	528	0,00149533
00:19:16	13,397	529	0,00164486
00:19:17	13,404	530	0,00216822
00:19:18	13,394	531	0,00142056
00:19:19	13,401	532	0,00194393
00:19:20	13,397	533	0,00164486
00:19:21	13,4	534	0,00186916
00:19:22	13,398	535	0,00171963
00:19:23	13,399	536	0,00179439
00:19:24	13,4	537	0,00186916

Продовження таблиці Б.1

00:19:25	13,399	538	0,00179439
00:19:26	13,405	539	0,00224299
00:19:27	13,398	540	0,00171963
00:19:28	13,397	541	0,00164486
00:19:29	13,401	542	0,00194393
00:19:30	13,399	543	0,00179439
00:19:31	13,397	544	0,00164486
00:19:32	13,399	545	0,00179439
00:19:33	13,402	546	0,00201869
00:19:34	13,402	547	0,00201869
00:19:35	13,405	548	0,00224299
00:19:36	13,409	549	0,00254206
00:19:37	13,398	550	0,00171963
00:19:38	13,402	551	0,00201869
00:19:39	13,401	552	0,00194393
00:19:40	13,394	553	0,00142056
00:19:41	13,399	554	0,00179439
00:19:42	13,393	555	0,00134579
00:19:43	13,393	556	0,00134579
00:19:44	13,401	557	0,00194393
00:19:45	13,397	558	0,00164486
00:19:46	13,399	559	0,00179439
00:19:47	13,397	560	0,00164486
00:19:48	13,401	561	0,00194393
00:19:49	13,399	562	0,00179439
00:19:50	13,39	563	0,0011215
00:19:51	13,388	564	0,00097196
00:19:52	13,401	565	0,00194393
00:19:53	13,392	566	0,00127103
00:19:54	13,397	567	0,00164486
00:19:55	13,397	568	0,00164486
00:19:56	13,395	569	0,00149533
00:19:57	13,389	570	0,00104673
00:19:58	13,392	571	0,00127103
00:19:59	13,393	572	0,00134579
00:20:00	13,401	573	0,00194393
00:20:01	13,392	574	0,00127103
00:20:02	13,395	575	0,00149533
00:20:03	13,399	576	0,00179439
00:20:04	13,391	577	0,00119626
00:20:05	13,393	578	0,00134579
00:20:06	13,392	579	0,00127103
00:20:07	13,39	580	0,0011215
00:20:08	13,383	581	0,00059813
00:20:09	13,39	582	0,0011215
00:20:10	13,389	583	0,00104673
00:20:11	13,386	584	0,00082243
00:20:12	13,392	585	0,00127103
00:20:13	13,388	586	0,00097196

Продовження таблиці Б.1

00:20:14	13,4	587	0,00186916
00:20:15	13,393	588	0,00134579
00:20:16	13,393	589	0,00134579
00:20:17	13,392	590	0,00127103
00:20:18	13,397	591	0,00164486
00:20:19	13,39	592	0,0011215
00:20:20	13,392	593	0,00127103
00:20:21	13,389	594	0,00104673
00:20:22	13,393	595	0,00134579
00:20:23	13,393	596	0,00134579
00:20:24	13,392	597	0,00127103
00:20:25	13,397	598	0,00164486
00:20:26	13,393	599	0,00134579
00:20:27	13,393	600	0,00134579
00:20:28	13,393	601	0,00134579
00:20:29	13,393	602	0,00134579
00:20:30	13,393	603	0,00134579
00:20:31	13,393	604	0,00134579
00:20:32	13,393	605	0,00134579
00:20:33	13,392	606	0,00127103
00:20:34	13,386	607	0,00082243
00:20:35	13,395	608	0,00149533
00:20:36	13,395	609	0,00149533
00:20:37	13,392	610	0,00127103
00:20:38	13,392	611	0,00127103
00:20:39	13,398	612	0,00171963
00:20:40	13,394	613	0,00142056
00:20:41	13,392	614	0,00127103
00:20:42	13,39	615	0,0011215
00:20:43	13,395	616	0,00149533
00:20:44	13,394	617	0,00142056
00:20:45	13,391	618	0,00119626
00:20:46	13,385	619	0,00074766
00:20:47	13,39	620	0,0011215
00:20:48	13,392	621	0,00127103
00:20:49	13,393	622	0,00134579
00:20:50	13,397	623	0,00164486
00:20:51	13,388	624	0,00097196
00:20:52	13,388	625	0,00097196
00:20:53	13,39	626	0,0011215
00:20:54	13,392	627	0,00127103
00:20:55	13,387	628	0,0008972
00:20:56	13,386	629	0,00082243
00:20:57	13,389	630	0,00104673
00:20:58	13,378	631	0,0002243
00:20:59	13,397	632	0,00164486
00:21:00	13,394	633	0,00142056
00:21:01	13,389	634	0,00104673
00:21:02	13,39	635	0,0011215

Продовження таблиці Б.1

00:21:03	13,39	636	0,0011215
00:21:04	13,394	637	0,00142056
00:21:05	13,392	638	0,00127103
00:21:06	13,402	639	0,00201869
00:21:07	13,401	640	0,00194393
00:21:08	13,391	641	0,00119626
00:21:09	13,392	642	0,00127103
00:21:10	13,381	643	0,0004486
00:21:11	13,397	644	0,00164486
00:21:12	13,391	645	0,00119626
00:21:13	13,394	646	0,00142056
00:21:14	13,394	647	0,00142056
00:21:15	13,393	648	0,00134579
00:21:16	13,397	649	0,00164486
00:21:17	13,389	650	0,00104673
00:21:18	13,388	651	0,00097196
00:21:19	13,395	652	0,00149533
00:21:20	13,388	653	0,00097196
00:21:21	13,391	654	0,00119626
00:21:22	13,392	655	0,00127103
00:21:23	13,393	656	0,00134579
00:21:24	13,394	657	0,00142056
00:21:25	13,392	658	0,00127103
00:21:26	13,394	659	0,00142056
00:21:27	13,394	660	0,00142056
00:21:28	13,4	661	0,00186916
00:21:29	13,387	662	0,0008972
00:21:30	13,392	663	0,00127103
00:21:31	13,392	664	0,00127103
00:21:32	13,39	665	0,0011215
00:21:33	13,384	666	0,0006729
00:21:34	13,389	667	0,00104673
00:21:35	13,389	668	0,00104673
00:21:36	13,388	669	0,00097196
00:21:37	13,387	670	0,0008972
00:21:38	13,384	671	0,0006729
00:21:39	13,388	672	0,00097196
00:21:40	13,392	673	0,00127103
00:21:41	13,388	674	0,00097196
00:21:42	13,388	675	0,00097196
00:21:43	13,389	676	0,00104673
00:21:44	13,389	677	0,00104673
00:21:45	13,386	678	0,00082243
00:21:46	13,385	679	0,00074766
00:21:47	13,39	680	0,0011215
00:21:48	13,388	681	0,00097196
00:21:49	13,386	682	0,00082243
00:21:50	13,384	683	0,0006729
00:21:51	13,391	684	0,00119626

Продовження таблиці Б.1

00:21:52	13,392	685	0,00127103
00:21:53	13,386	686	0,00082243
00:21:54	13,389	687	0,00104673
00:21:55	13,389	688	0,00104673
00:21:56	13,393	689	0,00134579
00:21:57	13,391	690	0,00119626
00:21:58	13,387	691	0,0008972
00:21:59	13,391	692	0,00119626
00:22:00	13,392	693	0,00127103
00:22:01	13,388	694	0,00097196
00:22:02	13,398	695	0,00171963
00:22:03	13,389	696	0,00104673
00:22:04	13,388	697	0,00097196
00:22:05	13,381	698	0,0004486
00:22:06	13,379	699	0,00029907
00:22:07	13,393	700	0,00134579
00:22:08	13,389	701	0,00104673
00:22:09	13,386	702	0,00082243
00:22:10	13,394	703	0,00142056
00:22:11	13,389	704	0,00104673
00:22:12	13,392	705	0,00127103
00:22:13	13,388	706	0,00097196
00:22:14	13,392	707	0,00127103
00:22:15	13,391	708	0,00119626
00:22:16	13,389	709	0,00104673
00:22:17	13,389	710	0,00104673
00:22:18	13,379	711	0,00029907
00:22:19	13,392	712	0,00127103
00:22:20	13,392	713	0,00127103
00:22:21	13,391	714	0,00119626
00:22:22	13,389	715	0,00104673
00:22:23	13,389	716	0,00104673
00:22:24	13,389	717	0,00104673
00:22:25	13,393	718	0,00134579
00:22:26	13,392	719	0,00127103
00:22:27	13,392	720	0,00127103
00:22:28	13,392	721	0,00127103
00:22:29	13,392	722	0,00127103
00:22:30	13,392	723	0,00127103
00:22:31	13,398	724	0,00171963
00:22:32	13,39	725	0,0011215
00:22:33	13,389	726	0,00104673
00:22:34	13,39	727	0,0011215
00:22:35	13,391	728	0,00119626
00:22:36	13,392	729	0,00127103
00:22:37	13,394	730	0,00142056
00:22:38	13,392	731	0,00127103
00:22:39	13,396	732	0,00157009
00:22:40	13,389	733	0,00104673

Продовження таблиці Б.1

00:22:41	13,396	734	0,00157009
00:22:42	13,389	735	0,00104673
00:22:43	13,388	736	0,00097196
00:22:44	13,377	737	0,00014953
00:22:45	13,39	738	0,0011215
00:22:46	13,388	739	0,00097196
00:22:47	13,375	740	0
00:22:48	13,379	741	0,00029907
00:22:49	13,386	742	0,00082243
00:22:50	13,392	743	0,00127103
00:22:51	13,387	744	0,0008972
00:22:52	13,384	745	0,0006729
00:22:53	13,392	746	0,00127103
00:22:54	13,384	747	0,0006729
00:22:55	13,385	748	0,00074766
00:22:56	13,382	749	0,00052336
00:22:57	13,389	750	0,00104673
00:22:58	13,388	751	0,00097196
00:22:59	13,384	752	0,0006729
00:23:00	13,392	753	0,00127103
00:23:01	13,386	754	0,00082243
00:23:02	13,382	755	0,00052336
00:23:03	13,385	756	0,00074766
00:23:04	13,379	757	0,00029907
00:23:05	13,388	758	0,00097196
00:23:06	13,384	759	0,0006729
00:23:07	13,397	760	0,00164486
00:23:08	13,394	761	0,00142056
00:23:09	13,393	762	0,00134579
00:23:10	13,396	763	0,00157009
00:23:11	13,384	764	0,0006729
00:23:12	13,387	765	0,0008972
00:23:13	13,388	766	0,00097196
00:23:14	13,388	767	0,00097196
00:23:15	13,391	768	0,00119626
00:23:16	13,384	769	0,0006729
00:23:17	13,384	770	0,0006729
00:23:18	13,386	771	0,00082243
00:23:19	13,383	772	0,00059813
00:23:20	13,394	773	0,00142056
00:23:21	13,385	774	0,00074766
00:23:22	13,396	775	0,00157009
00:23:23	13,39	776	0,0011215
00:23:24	13,392	777	0,00127103
00:23:25	13,391	778	0,00119626
00:23:26	13,398	779	0,00171963



Таблиця Б.2 – Результати експерименту 2 – вологомiст

Вiдлiк часу	Маса	Час сушіння	Вологовміст
00:33:41	28,307	0	0,287325481
00:33:42	28,293	1	0,286688799
00:33:43	28,297	2	0,286870708
00:33:44	28,291	3	0,286597844
00:33:45	28,29	4	0,286552367
00:33:46	28,277	5	0,285961162
00:33:47	28,274	6	0,285824731
00:33:48	28,264	7	0,285369958
00:33:49	28,252	8	0,28482423
00:33:50	28,238	9	0,284187548
00:33:51	28,227	10	0,283687298
00:33:52	28,208	11	0,28282323
00:33:53	28,202	12	0,282550366
00:33:54	28,193	13	0,282141071
00:33:55	28,171	14	0,28114057
00:33:56	28,16	15	0,28064032
00:33:57	28,135	16	0,279503388
00:33:58	28,116	17	0,27863932
00:33:59	28,11	18	0,278366456
00:34:00	28,09	19	0,27745691
00:34:01	28,075	20	0,276774751
00:34:02	28,06	21	0,276092592
00:34:03	28,047	22	0,275501387
00:34:04	28,027	23	0,274591841
00:34:05	28,01	24	0,273818728
00:34:06	27,994	25	0,273091091
00:34:07	27,977	26	0,272317977
00:34:08	27,948	27	0,270999136
00:34:09	27,934	28	0,270362454
00:34:10	27,915	29	0,269498386
00:34:11	27,887	30	0,268225022
00:34:12	27,872	31	0,267542862
00:34:13	27,853	32	0,266678794
00:34:14	27,835	33	0,265860203
00:34:15	27,807	34	0,264586839
00:34:16	27,79	35	0,263813725
00:34:17	27,765	36	0,262676793
00:34:18	27,742	37	0,261630815
00:34:19	27,72	38	0,260630315
00:34:20	27,686	39	0,259084087
00:34:21	27,668	40	0,258265496
00:34:22	27,635	41	0,256764746
00:34:23	27,62	42	0,256082587
00:34:24	27,595	43	0,254945655
00:34:25	27,572	44	0,253899677
00:34:26	27,542	45	0,252535359
00:34:27	27,52	46	0,251534858
00:34:28	27,49	47	0,25017054

Продовження таблиці Б.2

00:34:29	27,473	48	0,249397426
00:34:30	27,437	49	0,247760244
00:34:31	27,415	50	0,246759744
00:34:32	27,386	51	0,245440902
00:34:33	27,348	52	0,243712765
00:34:34	27,32	53	0,242439402
00:34:35	27,288	54	0,240984128
00:34:36	27,262	55	0,239801719
00:34:37	27,23	56	0,238346446
00:34:38	27,212	57	0,237527855
00:34:39	27,181	58	0,236118059
00:34:40	27,148	59	0,234617309
00:34:41	27,112	60	0,232980126
00:34:42	27,09	61	0,231979626
00:34:43	27,058	62	0,230524353
00:34:44	27,029	63	0,229205512
00:34:45	27,002	64	0,227977625
00:34:46	26,965	65	0,226294966
00:34:47	26,942	66	0,225248988
00:34:48	26,907	67	0,223657283
00:34:49	26,884	68	0,222611306
00:34:50	26,843	69	0,220746737
00:34:51	26,822	70	0,219791714
00:34:52	26,779	71	0,217836191
00:34:53	26,751	72	0,216562827
00:34:54	26,722	73	0,215243986
00:34:55	26,688	74	0,213697758
00:34:56	26,657	75	0,212287962
00:34:57	26,628	76	0,210969121
00:34:58	26,607	77	0,210014098
00:34:59	26,573	78	0,20846787
00:35:00	26,546	79	0,207239984
00:35:01	26,513	80	0,205739233
00:35:02	26,487	81	0,204556824
00:35:03	26,452	82	0,202965119
00:35:04	26,433	83	0,202101051
00:35:05	26,396	84	0,200418391
00:35:06	26,376	85	0,199508845
00:35:07	26,338	86	0,197780709
00:35:08	26,297	87	0,19591614
00:35:09	26,275	88	0,19491564
00:35:10	26,248	89	0,193687753
00:35:11	26,219	90	0,192368912
00:35:12	26,186	91	0,190868161
00:35:13	26,159	92	0,189640275
00:35:14	26,126	93	0,188139524
00:35:15	26,101	94	0,187002592
00:35:16	26,068	95	0,185501842
00:35:17	26,042	96	0,184319432

Продовження таблиці Б.2

00:35:18	26,017	97	0,1831825
00:35:19	25,984	98	0,18168175
00:35:20	25,959	99	0,180544818
00:35:21	25,921	100	0,178816681
00:35:22	25,901	101	0,177907135
00:35:23	25,868	102	0,176406385
00:35:24	25,849	103	0,175542317
00:35:25	25,807	104	0,173632271
00:35:26	25,787	105	0,172722725
00:35:27	25,757	106	0,171358406
00:35:28	25,727	107	0,169994088
00:35:29	25,707	108	0,169084542
00:35:30	25,669	109	0,167356405
00:35:31	25,652	110	0,166583292
00:35:32	25,614	111	0,164855155
00:35:33	25,587	112	0,163627268
00:35:34	25,564	113	0,162581291
00:35:35	25,537	114	0,161353404
00:35:36	25,503	115	0,159807176
00:35:37	25,484	116	0,158943108
00:35:38	25,466	117	0,158124517
00:35:39	25,434	118	0,156669244
00:35:40	25,403	119	0,155259448
00:35:41	25,364	120	0,153485834
00:35:42	25,348	121	0,152758197
00:35:43	25,316	122	0,151302924
00:35:44	25,294	123	0,150302424
00:35:45	25,271	124	0,149256446
00:35:46	25,251	125	0,148346901
00:35:47	25,219	126	0,146891628
00:35:48	25,19	127	0,145572786
00:35:49	25,161	128	0,144253945
00:35:50	25,149	129	0,143708218
00:35:51	25,117	130	0,142252945
00:35:52	25,088	131	0,140934103
00:35:53	25,066	132	0,139933603
00:35:54	25,038	133	0,138660239
00:35:55	25,018	134	0,137750694
00:35:56	24,984	135	0,136204466
00:35:57	24,973	136	0,135704216
00:35:58	24,941	137	0,134248943
00:35:59	24,92	138	0,13329392
00:36:00	24,887	139	0,131793169
00:36:01	24,87	140	0,131020055
00:36:02	24,836	141	0,129473828
00:36:03	24,812	142	0,128382373
00:36:04	24,795	143	0,127609259
00:36:05	24,763	144	0,126153986
00:36:06	24,747	145	0,12542635

Продовження таблиці Б.2

00:36:07	24,719	146	0,124152986
00:36:08	24,707	147	0,123607258
00:36:09	24,677	148	0,12224294
00:36:10	24,658	149	0,121378871
00:36:11	24,632	150	0,120196462
00:36:12	24,609	151	0,119150484
00:36:13	24,586	152	0,118104507
00:36:14	24,569	153	0,117331393
00:36:15	24,542	154	0,116103506
00:36:16	24,523	155	0,115239438
00:36:17	24,502	156	0,114284415
00:36:18	24,477	157	0,113147483
00:36:19	24,453	158	0,112056028
00:36:20	24,42	159	0,110555278
00:36:21	24,406	160	0,109918596
00:36:22	24,381	161	0,108781664
00:36:23	24,37	162	0,108281413
00:36:24	24,347	163	0,107235436
00:36:25	24,324	164	0,106189458
00:36:26	24,305	165	0,10532539
00:36:27	24,268	166	0,10364273
00:36:28	24,255	167	0,103051526
00:36:29	24,225	168	0,101687207
00:36:30	24,212	169	0,101096003
00:36:31	24,189	170	0,100050025
00:36:32	24,168	171	0,099095002
00:36:33	24,15	172	0,098276411
00:36:34	24,141	173	0,097867115
00:36:35	24,107	174	0,096320888
00:36:36	24,093	175	0,095684206
00:36:37	24,073	176	0,09477466
00:36:38	24,049	177	0,093683205
00:36:39	24,027	178	0,092682705
00:36:40	24,013	179	0,092046023
00:36:41	23,994	180	0,091181955
00:36:42	23,974	181	0,090272409
00:36:43	23,952	182	0,089271909
00:36:44	23,925	183	0,088044022
00:36:45	23,923	184	0,087953067
00:36:46	23,897	185	0,086770658
00:36:47	23,877	186	0,085861112
00:36:48	23,859	187	0,085042521
00:36:49	23,834	188	0,083905589
00:36:50	23,823	189	0,083405339
00:36:51	23,806	190	0,082632225
00:36:52	23,785	191	0,081677202
00:36:53	23,773	192	0,081131475
00:36:54	23,762	193	0,080631225
00:36:55	23,738	194	0,07953977

Продовження таблиці Б.2

00:36:56	23,725	195	0,078948565
00:36:57	23,707	196	0,078129974
00:36:58	23,689	197	0,077311383
00:36:59	23,675	198	0,076674701
00:37:00	23,656	199	0,075810633
00:37:01	23,635	200	0,07485561
00:37:02	23,619	201	0,074127973
00:37:03	23,607	202	0,073582246
00:37:04	23,587	203	0,0726727
00:37:05	23,581	204	0,072399836
00:37:06	23,559	205	0,071399336
00:37:07	23,543	206	0,070671699
00:37:08	23,523	207	0,069762154
00:37:09	23,51	208	0,069170949
00:37:10	23,496	209	0,068534267
00:37:11	23,486	210	0,068079494
00:37:12	23,467	211	0,067215426
00:37:13	23,453	212	0,066578744
00:37:14	23,437	213	0,065851107
00:37:15	23,429	214	0,065487289
00:37:16	23,416	215	0,064896084
00:37:17	23,399	216	0,064122971
00:37:18	23,382	217	0,063349857
00:37:19	23,373	218	0,062940561
00:37:20	23,364	219	0,062531266
00:37:21	23,349	220	0,061849106
00:37:22	23,339	221	0,061394334
00:37:23	23,32	222	0,060530265
00:37:24	23,306	223	0,059893583
00:37:25	23,293	224	0,059302378
00:37:26	23,281	225	0,058756651
00:37:27	23,28	226	0,058711174
00:37:28	23,255	227	0,057574242
00:37:29	23,245	228	0,057119469
00:37:30	23,23	229	0,05643731
00:37:31	23,225	230	0,056209923
00:37:32	23,212	231	0,055618718
00:37:33	23,196	232	0,054891082
00:37:34	23,194	233	0,054800127
00:37:35	23,187	234	0,054481786
00:37:36	23,173	235	0,053845104
00:37:37	23,164	236	0,053435809
00:37:38	23,163	237	0,053390332
00:37:39	23,148	238	0,052708172
00:37:40	23,141	239	0,052389831
00:37:41	23,127	240	0,051753149
00:37:42	23,112	241	0,05107099
00:37:43	23,102	242	0,050616217
00:37:44	23,093	243	0,050206922

Продовження таблиці Б.2

00:37:45	23,089	244	0,050025013
00:37:46	23,086	245	0,049888581
00:37:47	23,068	246	0,04906999
00:37:48	23,064	247	0,04888808
00:37:49	23,052	248	0,048342353
00:37:50	23,038	249	0,047705671
00:37:51	23,037	250	0,047660194
00:37:52	23,027	251	0,047205421
00:37:53	23,018	252	0,046796125
00:37:54	23,008	253	0,046341352
00:37:55	23	254	0,045977534
00:37:56	22,991	255	0,045568239
00:37:57	22,987	256	0,04538633
00:37:58	22,973	257	0,044749648
00:37:59	22,964	258	0,044340352
00:38:00	22,961	259	0,04420392
00:38:01	22,959	260	0,044112966
00:38:02	22,948	261	0,043612715
00:38:03	22,934	262	0,042976033
00:38:04	22,934	263	0,042976033
00:38:05	22,922	264	0,042430306
00:38:06	22,918	265	0,042248397
00:38:07	22,907	266	0,041748147
00:38:08	22,903	267	0,041566238
00:38:09	22,89	268	0,040975033
00:38:10	22,884	269	0,040702169
00:38:11	22,884	270	0,040702169
00:38:12	22,873	271	0,040201919
00:38:13	22,868	272	0,039974533
00:38:14	22,867	273	0,039929055
00:38:15	22,859	274	0,039565237
00:38:16	22,854	275	0,039337851
00:38:17	22,847	276	0,03901951
00:38:18	22,834	277	0,038428305
00:38:19	22,831	278	0,038291873
00:38:20	22,827	279	0,038109964
00:38:21	22,813	280	0,037473282
00:38:22	22,809	281	0,037291373
00:38:23	22,81	282	0,03733685
00:38:24	22,8	283	0,036882077
00:38:25	22,784	284	0,036154441
00:38:26	22,786	285	0,036245395
00:38:27	22,778	286	0,035881577
00:38:28	22,767	287	0,035381327
00:38:29	22,765	288	0,035290372
00:38:30	22,76	289	0,035062986
00:38:31	22,746	290	0,034426304
00:38:32	22,746	291	0,034426304
00:38:33	22,742	292	0,034244395

Продовження таблиці Б.2

00:38:34	22,738	293	0,034062486
00:38:35	22,727	294	0,033562236
00:38:36	22,727	295	0,033562236
00:38:37	22,716	296	0,033061986
00:38:38	22,715	297	0,033016508
00:38:39	22,705	298	0,032561735
00:38:40	22,704	299	0,032516258
00:38:41	22,7	300	0,032334349
00:38:42	22,688	301	0,031788622
00:38:43	22,687	302	0,031743144
00:38:44	22,69	303	0,031879576
00:38:45	22,675	304	0,031197417
00:38:46	22,675	305	0,031197417
00:38:47	22,656	306	0,030333348
00:38:48	22,661	307	0,030560735
00:38:49	22,655	308	0,030287871
00:38:50	22,65	309	0,030060485
00:38:51	22,649	310	0,030015008
00:38:52	22,644	311	0,029787621
00:38:53	22,634	312	0,029332848
00:38:54	22,622	313	0,028787121
00:38:55	22,627	314	0,029014507
00:38:56	22,625	315	0,028923553
00:38:57	22,615	316	0,02846878
00:38:58	22,606	317	0,028059484
00:38:59	22,605	318	0,028014007
00:39:00	22,602	319	0,027877575
00:39:01	22,596	320	0,027604711
00:39:02	22,591	321	0,027377325
00:39:03	22,59	322	0,027331848
00:39:04	22,583	323	0,027013507
00:39:05	22,576	324	0,026695166
00:39:06	22,571	325	0,026467779
00:39:07	22,568	326	0,026331347
00:39:08	22,566	327	0,026240393
00:39:09	22,555	328	0,025740143
00:39:10	22,56	329	0,025967529
00:39:11	22,549	330	0,025467279
00:39:12	22,55	331	0,025512756
00:39:13	22,541	332	0,025103461
00:39:14	22,537	333	0,024921552
00:39:15	22,535	334	0,024830597
00:39:16	22,532	335	0,024694165
00:39:17	22,525	336	0,024375824
00:39:18	22,526	337	0,024421302
00:39:19	22,524	338	0,024330347
00:39:20	22,512	339	0,02378462
00:39:21	22,512	340	0,02378462
00:39:22	22,511	341	0,023739142

Продовження таблиці Б.2

00:39:23	22,503	342	0,023375324
00:39:24	22,499	343	0,023193415
00:39:25	22,491	344	0,022829597
00:39:26	22,494	345	0,022966028
00:39:27	22,493	346	0,022920551
00:39:28	22,489	347	0,022738642
00:39:29	22,484	348	0,022511256
00:39:30	22,479	349	0,022283869
00:39:31	22,473	350	0,022011006
00:39:32	22,476	351	0,022147437
00:39:33	22,468	352	0,021783619
00:39:34	22,464	353	0,02160171
00:39:35	22,467	354	0,021738142
00:39:36	22,46	355	0,021419801
00:39:37	22,455	356	0,021192414
00:39:38	22,448	357	0,020874073
00:39:39	22,448	358	0,020874073
00:39:40	22,443	359	0,020646687
00:39:41	22,438	360	0,020419301
00:39:42	22,433	361	0,020191914
00:39:43	22,434	362	0,020237391
00:39:44	22,434	363	0,020237391
00:39:45	22,431	364	0,02010096
00:39:46	22,421	365	0,019646187
00:39:47	22,418	366	0,019509755
00:39:48	22,412	367	0,019236891
00:39:49	22,419	368	0,019555232
00:39:50	22,415	369	0,019373323
00:39:51	22,41	370	0,019145937
00:39:52	22,408	371	0,019054982
00:39:53	22,407	372	0,019009505
00:39:54	22,404	373	0,018873073
00:39:55	22,403	374	0,018827596
00:39:56	22,403	375	0,018827596
00:39:57	22,395	376	0,018463777
00:39:58	22,393	377	0,018372823
00:39:59	22,386	378	0,018054482
00:40:00	22,381	379	0,017827095
00:40:01	22,378	380	0,017690664
00:40:02	22,373	381	0,017463277
00:40:03	22,38	382	0,017781618
00:40:04	22,381	383	0,017827095
00:40:05	22,373	384	0,017463277
00:40:06	22,366	385	0,017144936
00:40:07	22,362	386	0,016963027
00:40:08	22,357	387	0,016735641
00:40:09	22,362	388	0,016963027
00:40:10	22,367	389	0,017190413
00:40:11	22,354	390	0,016599209



Продовження таблиці Б.2

00:40:12	22,35	391	0,0164173
00:40:13	22,358	392	0,016781118
00:40:14	22,341	393	0,016008004
00:40:15	22,342	394	0,016053481
00:40:16	22,334	395	0,015689663
00:40:17	22,34	396	0,015962527
00:40:18	22,338	397	0,015871572
00:40:19	22,329	398	0,015462277
00:40:20	22,332	399	0,015598708
00:40:21	22,335	400	0,01573514
00:40:22	22,33	401	0,015507754
00:40:23	22,329	402	0,015462277
00:40:24	22,329	403	0,015462277
00:40:25	22,32	404	0,015052981
00:40:26	22,311	405	0,014643685
00:40:27	22,316	406	0,014871072
00:40:28	22,307	407	0,014461776
00:40:29	22,296	408	0,013961526
00:40:30	22,301	409	0,014188913
00:40:31	22,302	410	0,01423439
00:40:32	22,302	411	0,01423439
00:40:33	22,299	412	0,014097958
00:40:34	22,299	413	0,014097958
00:40:35	22,297	414	0,014007004
00:40:36	22,297	415	0,014007004
00:40:37	22,296	416	0,013961526
00:40:38	22,29	417	0,013688663
00:40:39	22,29	418	0,013688663
00:40:40	22,29	419	0,013688663
00:40:41	22,292	420	0,013779617
00:40:42	22,289	421	0,013643185
00:40:43	22,282	422	0,013324844
00:40:44	22,285	423	0,013461276
00:40:45	22,283	424	0,013370322
00:40:46	22,273	425	0,012915549
00:40:47	22,277	426	0,013097458
00:40:48	22,27	427	0,012779117
00:40:49	22,27	428	0,012779117
00:40:50	22,265	429	0,01255173
00:40:51	22,268	430	0,012688162
00:40:52	22,263	431	0,012460776
00:40:53	22,268	432	0,012688162
00:40:54	22,256	433	0,012142435
00:40:55	22,26	434	0,012324344
00:40:56	22,255	435	0,012096958
00:40:57	22,256	436	0,012142435
00:40:58	22,257	437	0,012187912
00:40:59	22,249	438	0,011824094
00:41:00	22,25	439	0,011869571

Продовження таблиці Б.2

00:41:01	22,24	440	0,011414798
00:41:02	22,243	441	0,01155123
00:41:03	22,24	442	0,011414798
00:41:04	22,242	443	0,011505753
00:41:05	22,242	444	0,011505753
00:41:06	22,236	445	0,011232889
00:41:07	22,232	446	0,01105098
00:41:08	22,238	447	0,011323844
00:41:09	22,234	448	0,011141935
00:41:10	22,231	449	0,011005503
00:41:11	22,228	450	0,010869071
00:41:12	22,23	451	0,010960025
00:41:13	22,226	452	0,010778116
00:41:14	22,226	453	0,010778116
00:41:15	22,224	454	0,010687162
00:41:16	22,222	455	0,010596207
00:41:17	22,216	456	0,010323343
00:41:18	22,219	457	0,010459775
00:41:19	22,219	458	0,010459775
00:41:20	22,211	459	0,010095957
00:41:21	22,212	460	0,010141434
00:41:22	22,212	461	0,010141434
00:41:23	22,203	462	0,009732139
00:41:24	22,212	463	0,010141434
00:41:25	22,208	464	0,009959525
00:41:26	22,203	465	0,009732139
00:41:27	22,204	466	0,009777616
00:41:28	22,207	467	0,009914048
00:41:29	22,205	468	0,009823093
00:41:30	22,2	469	0,009595707
00:41:31	22,199	470	0,00955023
00:41:32	22,203	471	0,009732139
00:41:33	22,202	472	0,009686662
00:41:34	22,196	473	0,009413798
00:41:35	22,196	474	0,009413798
00:41:36	22,196	475	0,009413798
00:41:37	22,19	476	0,009140934
00:41:38	22,19	477	0,009140934
00:41:39	22,187	478	0,009004502
00:41:40	22,185	479	0,008913548
00:41:41	22,196	480	0,009413798
00:41:42	22,195	481	0,009368321
00:41:43	22,189	482	0,009095457
00:41:44	22,186	483	0,008959025
00:41:45	22,183	484	0,008822593
00:41:46	22,18	485	0,008686161
00:41:47	22,187	486	0,009004502
00:41:48	22,176	487	0,008504252
00:41:49	22,173	488	0,00836782

Продовження таблиці Б.2

00:41:50	22,177	489	0,008549729
00:41:51	22,185	490	0,008913548
00:41:52	22,175	491	0,008458775
00:41:53	22,17	492	0,008231388
00:41:54	22,169	493	0,008185911
00:41:55	22,173	494	0,00836782
00:41:56	22,173	495	0,00836782
00:41:57	22,17	496	0,008231388
00:41:58	22,165	497	0,008004002
00:41:59	22,165	498	0,008004002
00:42:00	22,159	499	0,007731138
00:42:01	22,158	500	0,007685661
00:42:02	22,164	501	0,007958525
00:42:03	22,162	502	0,00786757
00:42:04	22,159	503	0,007731138
00:42:05	22,16	504	0,007776616
00:42:06	22,162	505	0,00786757
00:42:07	22,164	506	0,007958525
00:42:08	22,151	507	0,00736732
00:42:09	22,148	508	0,007230888
00:42:10	22,148	509	0,007230888
00:42:11	22,143	510	0,007003502
00:42:12	22,148	511	0,007230888
00:42:13	22,142	512	0,006958024
00:42:14	22,145	513	0,007094456
00:42:15	22,147	514	0,007185411
00:42:16	22,143	515	0,007003502
00:42:17	22,149	516	0,007276365
00:42:18	22,145	517	0,007094456
00:42:19	22,141	518	0,006912547
00:42:20	22,143	519	0,007003502
00:42:21	22,143	520	0,007003502
00:42:22	22,145	521	0,007094456
00:42:23	22,142	522	0,006958024
00:42:24	22,141	523	0,006912547
00:42:25	22,134	524	0,006594206
00:42:26	22,135	525	0,006639683
00:42:27	22,13	526	0,006412297
00:42:28	22,133	527	0,006548729
00:42:29	22,132	528	0,006503252
00:42:30	22,134	529	0,006594206
00:42:31	22,13	530	0,006412297
00:42:32	22,121	531	0,006003002
00:42:33	22,125	532	0,006184911
00:42:34	22,123	533	0,006093956
00:42:35	22,128	534	0,006321342
00:42:36	22,126	535	0,006230388
00:42:37	22,124	536	0,006139433
00:42:38	22,124	537	0,006139433

Продовження таблиці Б.2

00:42:39	22,121	538	0,006003002
00:42:40	22,12	539	0,005957524
00:42:41	22,12	540	0,005957524
00:42:42	22,121	541	0,006003002
00:42:43	22,118	542	0,00586657
00:42:44	22,13	543	0,006412297
00:42:45	22,118	544	0,00586657
00:42:46	22,116	545	0,005775615
00:42:47	22,12	546	0,005957524
00:42:48	22,113	547	0,005639183
00:42:49	22,114	548	0,005684661
00:42:50	22,116	549	0,005775615
00:42:51	22,116	550	0,005775615
00:42:52	22,116	551	0,005775615
00:42:53	22,12	552	0,005957524
00:42:54	22,112	553	0,005593706
00:42:55	22,106	554	0,005320842
00:42:56	22,103	555	0,00518441
00:42:57	22,115	556	0,005730138
00:42:58	22,104	557	0,005229888
00:42:59	22,103	558	0,00518441
00:43:00	22,103	559	0,00518441
00:43:01	22,107	560	0,00536632
00:43:02	22,098	561	0,004957024
00:43:03	22,103	562	0,00518441
00:43:04	22,099	563	0,005002501
00:43:05	22,102	564	0,005138933
00:43:06	22,101	565	0,005093456
00:43:07	22,102	566	0,005138933
00:43:08	22,101	567	0,005093456
00:43:09	22,099	568	0,005002501
00:43:10	22,094	569	0,004775115
00:43:11	22,102	570	0,005138933
00:43:12	22,098	571	0,004957024
00:43:13	22,094	572	0,004775115
00:43:14	22,099	573	0,005002501
00:43:15	22,099	574	0,005002501
00:43:16	22,095	575	0,004820592
00:43:17	22,088	576	0,004502251
00:43:18	22,093	577	0,004729638
00:43:19	22,093	578	0,004729638
00:43:20	22,099	579	0,005002501
00:43:21	22,094	580	0,004775115
00:43:22	22,087	581	0,004456774
00:43:23	22,1	582	0,005047979
00:43:24	22,09	583	0,004593206
00:43:25	22,098	584	0,004957024
00:43:26	22,09	585	0,004593206
00:43:27	22,094	586	0,004775115

Продовження таблиці Б.2

00:43:28	22,086	587	0,004411297
00:43:29	22,084	588	0,004320342
00:43:30	22,091	589	0,004638683
00:43:31	22,086	590	0,004411297
00:43:32	22,082	591	0,004229387
00:43:33	22,077	592	0,004002001
00:43:34	22,084	593	0,004320342
00:43:35	22,091	594	0,004638683
00:43:36	22,085	595	0,004365819
00:43:37	22,083	596	0,004274865
00:43:38	22,082	597	0,004229387
00:43:39	22,082	598	0,004229387
00:43:40	22,086	599	0,004411297
00:43:41	22,081	600	0,00418391
00:43:42	22,081	601	0,00418391
00:43:43	22,085	602	0,004365819
00:43:44	22,072	603	0,003774615
00:43:45	22,077	604	0,004002001
00:43:46	22,077	605	0,004002001
00:43:47	22,077	606	0,004002001
00:43:48	22,068	607	0,003592705
00:43:49	22,071	608	0,003729137
00:43:50	22,064	609	0,003410796
00:43:51	22,072	610	0,003774615
00:43:52	22,079	611	0,004092956
00:43:53	22,073	612	0,003820092
00:43:54	22,072	613	0,003774615
00:43:55	22,07	614	0,00368366
00:43:56	22,068	615	0,003592705
00:43:57	22,068	616	0,003592705
00:43:58	22,068	617	0,003592705
00:43:59	22,064	618	0,003410796
00:44:00	22,068	619	0,003592705
00:44:01	22,064	620	0,003410796
00:44:02	22,065	621	0,003456274
00:44:03	22,065	622	0,003456274
00:44:04	22,065	623	0,003456274
00:44:05	22,068	624	0,003592705
00:44:06	22,072	625	0,003774615
00:44:07	22,067	626	0,003547228
00:44:08	22,068	627	0,003592705
00:44:09	22,071	628	0,003729137
00:44:10	22,069	629	0,003638183
00:44:11	22,061	630	0,003274364
00:44:12	22,055	631	0,003001501
00:44:13	22,058	632	0,003137933
00:44:14	22,06	633	0,003228887
00:44:15	22,065	634	0,003456274
00:44:16	22,06	635	0,003228887

Продовження таблиці Б.2

00:44:17	22,061	636	0,003274364
00:44:18	22,059	637	0,00318341
00:44:19	22,064	638	0,003410796
00:44:20	22,061	639	0,003274364
00:44:21	22,06	640	0,003228887
00:44:22	22,057	641	0,003092455
00:44:23	22,055	642	0,003001501
00:44:24	22,062	643	0,003319842
00:44:25	22,057	644	0,003092455
00:44:26	22,053	645	0,002910546
00:44:27	22,055	646	0,003001501
00:44:28	22,056	647	0,003046978
00:44:29	22,055	648	0,003001501
00:44:30	22,055	649	0,003001501
00:44:31	22,058	650	0,003137933
00:44:32	22,058	651	0,003137933
00:44:33	22,05	652	0,002774114
00:44:34	22,06	653	0,003228887
00:44:35	22,051	654	0,002819592
00:44:36	22,051	655	0,002819592
00:44:37	22,059	656	0,00318341
00:44:38	22,051	657	0,002819592
00:44:39	22,052	658	0,002865069
00:44:40	22,054	659	0,002956023
00:44:41	22,051	660	0,002819592
00:44:42	22,058	661	0,003137933
00:44:43	22,052	662	0,002865069
00:44:44	22,046	663	0,002592205
00:44:45	22,047	664	0,002637682
00:44:46	22,049	665	0,002728637
00:44:47	22,054	666	0,002956023
00:44:48	22,051	667	0,002819592
00:44:49	22,047	668	0,002637682
00:44:50	22,047	669	0,002637682
00:44:51	22,041	670	0,002364819
00:44:52	22,046	671	0,002592205
00:44:53	22,051	672	0,002819592
00:44:54	22,045	673	0,002546728
00:44:55	22,041	674	0,002364819
00:44:56	22,041	675	0,002364819
00:44:57	22,045	676	0,002546728
00:44:58	22,044	677	0,002501251
00:44:59	22,043	678	0,002455773
00:45:00	22,043	679	0,002455773
00:45:01	22,039	680	0,002273864
00:45:02	22,046	681	0,002592205
00:45:03	22,047	682	0,002637682
00:45:04	22,045	683	0,002546728
00:45:05	22,038	684	0,002228387

Продовження таблиці Б.2

00:45:06	22,041	685	0,002364819
00:45:07	22,044	686	0,002501251
00:45:08	22,044	687	0,002501251
00:45:09	22,038	688	0,002228387
00:45:10	22,038	689	0,002228387
00:45:11	22,038	690	0,002228387
00:45:12	22,034	691	0,002046478
00:45:13	22,033	692	0,002001001
00:45:14	22,041	693	0,002364819
00:45:15	22,04	694	0,002319341
00:45:16	22,042	695	0,002410296
00:45:17	22,038	696	0,002228387
00:45:18	22,035	697	0,002091955
00:45:19	22,04	698	0,002319341
00:45:20	22,035	699	0,002091955
00:45:21	22,034	700	0,002046478
00:45:22	22,034	701	0,002046478
00:45:23	22,034	702	0,002046478
00:45:24	22,039	703	0,002273864
00:45:25	22,038	704	0,002228387
00:45:26	22,03	705	0,001864569
00:45:27	22,027	706	0,001728137
00:45:28	22,025	707	0,001637182
00:45:29	22,039	708	0,002273864
00:45:30	22,037	709	0,00218291
00:45:31	22,031	710	0,001910046
00:45:32	22,029	711	0,001819091
00:45:33	22,03	712	0,001864569
00:45:34	22,034	713	0,002046478
00:45:35	22,037	714	0,00218291
00:45:36	22,037	715	0,00218291
00:45:37	22,029	716	0,001819091
00:45:38	22,03	717	0,001864569
00:45:39	22,029	718	0,001819091
00:45:40	22,036	719	0,002137432
00:45:41	22,031	720	0,001910046
00:45:42	22,035	721	0,002091955
00:45:43	22,028	722	0,001773614
00:45:44	22,037	723	0,00218291
00:45:45	22,032	724	0,001955523
00:45:46	22,034	725	0,002046478
00:45:47	22,025	726	0,001637182
00:45:48	22,02	727	0,001409796
00:45:49	22,022	728	0,00150075
00:45:50	22,025	729	0,001637182
00:45:51	22,025	730	0,001637182
00:45:52	22,034	731	0,002046478
00:45:53	22,028	732	0,001773614
00:45:54	22,025	733	0,001637182

Продовження таблиці Б.2

00:45:55	22,027	734	0,001728137
00:45:56	22,031	735	0,001910046
00:45:57	22,019	736	0,001364319
00:45:58	22,029	737	0,001819091
00:45:59	22,024	738	0,001591705
00:46:00	22,023	739	0,001546228
00:46:01	22,025	740	0,001637182
00:46:02	22,021	741	0,001455273
00:46:03	22,016	742	0,001227887
00:46:04	22,02	743	0,001409796
00:46:05	22,023	744	0,001546228
00:46:06	22,018	745	0,001318841
00:46:07	22,013	746	0,001091455
00:46:08	22,025	747	0,001637182
00:46:09	22,022	748	0,00150075
00:46:10	22,02	749	0,001409796
00:46:11	22,021	750	0,001455273
00:46:12	22,023	751	0,001546228
00:46:13	22,018	752	0,001318841
00:46:14	22,02	753	0,001409796
00:46:15	22,017	754	0,001273364
00:46:16	22,02	755	0,001409796
00:46:17	22,02	756	0,001409796
00:46:18	22,019	757	0,001364319
00:46:19	22,016	758	0,001227887
00:46:20	22,007	759	0,000818591
00:46:21	22,022	760	0,00150075
00:46:22	22,018	761	0,001318841
00:46:23	22,01	762	0,000955023
00:46:24	22,009	763	0,000909546
00:46:25	22,014	764	0,001136932
00:46:26	22,018	765	0,001318841
00:46:27	22,022	766	0,00150075
00:46:28	22,01	767	0,000955023
00:46:29	22,016	768	0,001227887
00:46:30	22,016	769	0,001227887
00:46:31	22,019	770	0,001364319
00:46:32	22,027	771	0,001728137
00:46:33	22,019	772	0,001364319
00:46:34	22,022	773	0,00150075
00:46:35	22,016	774	0,001227887
00:46:36	22,011	775	0,0010005
00:46:37	22,009	776	0,000909546
00:46:38	22,009	777	0,000909546
00:46:39	22,014	778	0,001136932
00:46:40	22,007	779	0,000818591
00:46:41	22,009	780	0,000909546
00:46:42	22,007	781	0,000818591
00:46:43	22,011	782	0,0010005



Продовження таблиці Б.2

00:46:44	22,016	783	0,001227887
00:46:45	22,01	784	0,000955023
00:46:46	22,014	785	0,001136932
00:46:47	22,012	786	0,001045978
00:46:48	22,012	787	0,001045978
00:46:49	22,009	788	0,000909546
00:46:50	22	789	0,00050025
00:46:51	22,016	790	0,001227887
00:46:52	22,007	791	0,000818591
00:46:53	22,007	792	0,000818591
00:46:54	22,007	793	0,000818591
00:46:55	22,012	794	0,001045978
00:46:56	22,018	795	0,001318841
00:46:57	22,011	796	0,0010005
00:46:58	22,01	797	0,000955023
00:46:59	22,003	798	0,000636682
00:47:00	22,004	799	0,000682159
00:47:01	22,016	800	0,001227887
00:47:02	22,009	801	0,000909546
00:47:03	22,012	802	0,001045978
00:47:04	22,015	803	0,001182409
00:47:05	22,007	804	0,000818591
00:47:06	22,007	805	0,000818591
00:47:07	22,001	806	0,000545727
00:47:08	22,003	807	0,000636682
00:47:09	22,01	808	0,000955023
00:47:10	22,012	809	0,001045978
00:47:11	22	810	0,00050025
00:47:12	22,005	811	0,000727637
00:47:13	22,009	812	0,000909546
00:47:14	22,014	813	0,001136932
00:47:15	22,009	814	0,000909546
00:47:16	22,009	815	0,000909546
00:47:17	22,009	816	0,000909546
00:47:18	22,008	817	0,000864068
00:47:19	22,004	818	0,000682159
00:47:20	22,003	819	0,000636682
00:47:21	22,003	820	0,000636682
00:47:22	22,011	821	0,0010005
00:47:23	22,012	822	0,001045978
00:47:24	22,003	823	0,000636682
00:47:25	21,998	824	0,000409296
00:47:26	22	825	0,00050025
00:47:27	22,012	826	0,001045978
00:47:28	22,004	827	0,000682159
00:47:29	22,009	828	0,000909546
00:47:30	21,997	829	0,000363818
00:47:31	22	830	0,00050025
00:47:32	22,007	831	0,000818591

Продовження таблиці Б.2

00:47:33	22,012	832	0,001045978
00:47:34	22,009	833	0,000909546
00:47:35	22,008	834	0,000864068
00:47:36	22,012	835	0,001045978
00:47:37	22,003	836	0,000636682
00:47:38	21,999	837	0,000454773
00:47:39	22	838	0,00050025
00:47:40	22	839	0,00050025
00:47:41	22,005	840	0,000727637
00:47:42	22,006	841	0,000773114
00:47:43	22,012	842	0,001045978
00:47:44	22,007	843	0,000818591
00:47:45	22,007	844	0,000818591
00:47:46	22,002	845	0,000591205
00:47:47	22,001	846	0,000545727
00:47:48	22,007	847	0,000818591
00:47:49	22,006	848	0,000773114
00:47:50	22,004	849	0,000682159
00:47:51	22,004	850	0,000682159
00:47:52	22,004	851	0,000682159
00:47:53	22,004	852	0,000682159
00:47:54	22,004	853	0,000682159
00:47:55	22,004	854	0,000682159
00:47:56	22,004	855	0,000682159
00:47:57	22,002	856	0,000591205
00:47:58	22,006	857	0,000773114
00:47:59	22,004	858	0,000682159
00:48:00	22,005	859	0,000727637
00:48:01	22,005	860	0,000727637
00:48:02	21,999	861	0,000454773
00:48:03	22,004	862	0,000682159
00:48:04	22	863	0,00050025
00:48:05	22,007	864	0,000818591
00:48:06	21,997	865	0,000363818
00:48:07	22,005	866	0,000727637
00:48:08	22,001	867	0,000545727
00:48:09	21,996	868	0,000318341
00:48:10	22,002	869	0,000591205
00:48:11	22,002	870	0,000591205
00:48:12	21,999	871	0,000454773
00:48:13	22,011	872	0,0010005
00:48:14	21,999	873	0,000454773
00:48:15	21,994	874	0,000227386
00:48:16	22,004	875	0,000682159
00:48:17	22,001	876	0,000545727
00:48:18	21,992	877	0,000136432
00:48:19	22,005	878	0,000727637
00:48:20	22,003	879	0,000636682
00:48:21	21,994	880	0,000227386

Продовження таблиці Б.2

00:48:22	22,001	881	0,000545727
00:48:23	21,999	882	0,000454773
00:48:24	22,005	883	0,000727637
00:48:25	21,999	884	0,000454773
00:48:26	21,991	885	9,09546E-05
00:48:27	21,997	886	0,000363818
00:48:28	22,003	887	0,000636682
00:48:29	22	888	0,00050025
00:48:30	21,992	889	0,000136432
00:48:31	22,002	890	0,000591205
00:48:32	22,003	891	0,000636682
00:48:33	22,005	892	0,000727637
00:48:34	22,002	893	0,000591205
00:48:35	21,994	894	0,000227386
00:48:36	21,996	895	0,000318341
00:48:37	21,989	896	0
00:48:38	21,996	897	0,000318341
00:48:39	22,001	898	0,000545727
00:48:40	21,995	899	0,000272864
00:48:41	21,997	900	0,000363818
00:48:42	21,999	901	0,000454773

Таблиця Б.3 – Результати експерименту 3 – вологовміст

Відлік часу	Маса	Час сушіння	Вологовміст
01:06:35	35,083	0	0,306775431
01:06:36	35,082	1	0,306738183
01:06:37	35,073	2	0,30640295
01:06:38	35,072	3	0,306365702
01:06:39	35,07	4	0,306291206
01:06:40	35,068	5	0,30621671
01:06:41	35,061	6	0,305955973
01:06:42	35,056	7	0,305769732
01:06:43	35,052	8	0,30562074
01:06:44	35,044	9	0,305322755
01:06:45	35,039	10	0,305136514
01:06:46	35,024	11	0,304577793
01:06:47	35,016	12	0,304279808
01:06:48	34,999	13	0,30364659
01:06:49	34,986	14	0,303162365
01:06:50	34,969	15	0,302529147
01:06:51	34,963	16	0,302305658
01:06:52	34,947	17	0,301709688
01:06:53	34,93	18	0,30107647
01:06:54	34,917	19	0,300592245
01:06:55	34,9	20	0,299959027
01:06:56	34,886	21	0,299437554
01:06:57	34,86	22	0,298469103
01:06:58	34,843	23	0,297835885
01:06:59	34,82	24	0,296979178
01:07:00	34,809	25	0,296569449
01:07:01	34,786	26	0,295712743
01:07:02	34,768	27	0,295042277
01:07:03	34,738	28	0,293924833
01:07:04	34,716	29	0,293105375
01:07:05	34,684	30	0,291913435
01:07:06	34,662	31	0,291093977
01:07:07	34,632	32	0,289976534
01:07:08	34,61	33	0,289157075
01:07:09	34,589	34	0,288374865
01:07:10	34,549	35	0,286884941
01:07:11	34,533	36	0,286288971
01:07:12	34,492	37	0,284761798
01:07:13	34,477	38	0,284203077
01:07:14	34,427	39	0,282340671
01:07:15	34,408	40	0,281632957
01:07:16	34,361	41	0,279882296
01:07:17	34,332	42	0,278802101
01:07:18	34,302	43	0,277684658
01:07:19	34,262	44	0,276194733
01:07:20	34,234	45	0,275151786
01:07:21	34,193	46	0,273624614
01:07:22	34,161	47	0,272432674

Продовження таблиці Б.3

01:07:23	34,111	48	0,270570269
01:07:24	34,086	49	0,269639066
01:07:25	34,039	50	0,267888405
01:07:26	34,014	51	0,266957202
01:07:27	33,962	52	0,2650203
01:07:28	33,928	53	0,263753864
01:07:29	33,876	54	0,261816963
01:07:30	33,833	55	0,260215294
01:07:31	33,799	56	0,258948858
01:07:32	33,753	57	0,257235445
01:07:33	33,712	58	0,255708273
01:07:34	33,667	59	0,254032108
01:07:35	33,63	60	0,252653928
01:07:36	33,578	61	0,250717026
01:07:37	33,547	62	0,249562335
01:07:38	33,495	63	0,247625433
01:07:39	33,435	64	0,245390546
01:07:40	33,403	65	0,244198607
01:07:41	33,35	66	0,242224457
01:07:42	33,314	67	0,240883525
01:07:43	33,258	68	0,238797631
01:07:44	33,227	69	0,23764294
01:07:45	33,167	70	0,235408053
01:07:46	33,14	71	0,234402354
01:07:47	33,086	72	0,232390956
01:07:48	33,049	73	0,231012776
01:07:49	32,993	74	0,228926882
01:07:50	32,955	75	0,227511454
01:07:51	32,904	76	0,2256118
01:07:52	32,854	77	0,223749395
01:07:53	32,812	78	0,222184974
01:07:54	32,761	79	0,220285321
01:07:55	32,731	80	0,219167877
01:07:56	32,675	81	0,217081983
01:07:57	32,64	82	0,215778299
01:07:58	32,587	83	0,213804149
01:07:59	32,555	84	0,21261221
01:08:00	32,505	85	0,210749804
01:08:01	32,471	86	0,209483369
01:08:02	32,416	87	0,207434723
01:08:03	32,372	88	0,205795806
01:08:04	32,327	89	0,204119641
01:08:05	32,285	90	0,20255522
01:08:06	32,252	91	0,201326033
01:08:07	32,199	92	0,199351883
01:08:08	32,17	93	0,198271688
01:08:09	32,118	94	0,196334786
01:08:10	32,083	95	0,195031102
01:08:11	32,033	96	0,193168697

Продовження таблиці Б.3

01:08:12	32,001	97	0,191976757
01:08:13	31,96	98	0,190449585
01:08:14	31,908	99	0,188512683
01:08:15	31,877	100	0,187357992
01:08:16	31,83	101	0,18560733
01:08:17	31,801	102	0,184527135
01:08:18	31,753	103	0,182739226
01:08:19	31,725	104	0,181696279
01:08:20	31,669	105	0,179610385
01:08:21	31,646	106	0,178753678
01:08:22	31,599	107	0,177003017
01:08:23	31,573	108	0,176034566
01:08:24	31,52	109	0,174060416
01:08:25	31,495	110	0,173129214
01:08:26	31,454	111	0,171602041
01:08:27	31,407	112	0,16985138
01:08:28	31,373	113	0,168584944
01:08:29	31,334	114	0,167132268
01:08:30	31,301	115	0,16590308
01:08:31	31,261	116	0,164413156
01:08:32	31,231	117	0,163295713
01:08:33	31,188	118	0,161694044
01:08:34	31,164	119	0,160800089
01:08:35	31,123	120	0,159272917
01:08:36	31,097	121	0,158304466
01:08:37	31,042	122	0,15625582
01:08:38	31,008	123	0,154989384
01:08:39	30,982	124	0,154020933
01:08:40	30,943	125	0,152568257
01:08:41	30,908	126	0,151264573
01:08:42	30,867	127	0,149737401
01:08:43	30,846	128	0,148955191
01:08:44	30,801	129	0,147279026
01:08:45	30,788	130	0,1467948
01:08:46	30,738	131	0,144932395
01:08:47	30,698	132	0,14344247
01:08:48	30,674	133	0,142548516
01:08:49	30,635	134	0,141095839
01:08:50	30,607	135	0,140052892
01:08:51	30,573	136	0,138786457
01:08:52	30,549	137	0,137892502
01:08:53	30,512	138	0,136514322
01:08:54	30,489	139	0,135657615
01:08:55	30,459	140	0,134540172
01:08:56	30,431	141	0,133497225
01:08:57	30,389	142	0,131932804
01:08:58	30,373	143	0,131336835
01:08:59	30,335	144	0,129921406
01:09:00	30,317	145	0,129250941

Продовження таблиці Б.3

01:09:01	30,273	146	0,127612024
01:09:02	30,234	147	0,126159347
01:09:03	30,22	148	0,125637874
01:09:04	30,177	149	0,124036205
01:09:05	30,16	150	0,123402987
01:09:06	30,124	151	0,122062055
01:09:07	30,102	152	0,121242597
01:09:08	30,068	153	0,119976161
01:09:09	30,047	154	0,119193951
01:09:10	30,013	155	0,117927515
01:09:11	29,981	156	0,116735576
01:09:12	29,967	157	0,116214102
01:09:13	29,921	158	0,114500689
01:09:14	29,908	159	0,114016464
01:09:15	29,878	160	0,11289902
01:09:16	29,86	161	0,112228554
01:09:17	29,829	162	0,111073863
01:09:18	29,807	163	0,110254405
01:09:19	29,77	164	0,108876225
01:09:20	29,758	165	0,108429247
01:09:21	29,733	166	0,107498044
01:09:22	29,693	167	0,10600812
01:09:23	29,677	168	0,10541215
01:09:24	29,652	169	0,104480948
01:09:25	29,629	170	0,103624241
01:09:26	29,599	171	0,102506798
01:09:27	29,582	172	0,10187358
01:09:28	29,555	173	0,100867881
01:09:29	29,534	174	0,100085671
01:09:30	29,508	175	0,09911722
01:09:31	29,492	176	0,09852125
01:09:32	29,46	177	0,097329311
01:09:33	29,447	178	0,096845085
01:09:34	29,416	179	0,095690394
01:09:35	29,39	180	0,094721943
01:09:36	29,373	181	0,094088725
01:09:37	29,346	182	0,093083026
01:09:38	29,334	183	0,092636049
01:09:39	29,306	184	0,091593102
01:09:40	29,288	185	0,090922636
01:09:41	29,267	186	0,090140425
01:09:42	29,252	187	0,089581704
01:09:43	29,219	188	0,088352516
01:09:44	29,201	189	0,08768205
01:09:45	29,18	190	0,08689984
01:09:46	29,159	191	0,08611763
01:09:47	29,137	192	0,085298171
01:09:48	29,122	193	0,084739449
01:09:49	29,108	194	0,084217976

Продовження таблиці Б.3

01:09:50	29,08	195	0,083175029
01:09:51	29,065	196	0,082616307
01:09:52	29,047	197	0,081945841
01:09:53	29,035	198	0,081498864
01:09:54	28,998	199	0,080120684
01:09:55	28,99	200	0,079822699
01:09:56	28,974	201	0,079226729
01:09:57	28,951	202	0,078370023
01:09:58	28,939	203	0,077923045
01:09:59	28,922	204	0,077289828
01:10:00	28,904	205	0,076619362
01:10:01	28,889	206	0,07606064
01:10:02	28,878	207	0,075650911
01:10:03	28,855	208	0,074794204
01:10:04	28,844	209	0,074384475
01:10:05	28,818	210	0,073416024
01:10:06	28,808	211	0,073043543
01:10:07	28,782	212	0,072075092
01:10:08	28,772	213	0,071702611
01:10:09	28,751	214	0,070920401
01:10:10	28,739	215	0,070473423
01:10:11	28,725	216	0,06995195
01:10:12	28,706	217	0,069244236
01:10:13	28,693	218	0,06876001
01:10:14	28,678	219	0,068201289
01:10:15	28,672	220	0,0679778
01:10:16	28,655	221	0,067344582
01:10:17	28,645	222	0,066972101
01:10:18	28,629	223	0,066376131
01:10:19	28,608	224	0,065593921
01:10:20	28,596	225	0,065146944
01:10:21	28,578	226	0,064476478
01:10:22	28,569	227	0,064141245
01:10:23	28,56	228	0,063806012
01:10:24	28,547	229	0,063321786
01:10:25	28,532	230	0,062763065
01:10:26	28,521	231	0,062353336
01:10:27	28,505	232	0,061757366
01:10:28	28,495	233	0,061384885
01:10:29	28,474	234	0,060602674
01:10:30	28,474	235	0,060602674
01:10:31	28,459	236	0,060043953
01:10:32	28,449	237	0,059671472
01:10:33	28,429	238	0,058926509
01:10:34	28,417	239	0,058479532
01:10:35	28,404	240	0,057995307
01:10:36	28,396	241	0,057697322
01:10:37	28,372	242	0,056803367
01:10:38	28,366	243	0,056579879



Продовження таблиці Б.3

01:10:39	28,365	244	0,05654263
01:10:40	28,342	245	0,055685924
01:10:41	28,336	246	0,055462435
01:10:42	28,321	247	0,054903714
01:10:43	28,312	248	0,054568481
01:10:44	28,3	249	0,054121503
01:10:45	28,288	250	0,053674526
01:10:46	28,275	251	0,053190301
01:10:47	28,263	252	0,052743323
01:10:48	28,26	253	0,052631579
01:10:49	28,253	254	0,052370842
01:10:50	28,244	255	0,052035609
01:10:51	28,237	256	0,051774872
01:10:52	28,226	257	0,051365143
01:10:53	28,207	258	0,050657429
01:10:54	28,195	259	0,050210452
01:10:55	28,191	260	0,050061459
01:10:56	28,175	261	0,04946549
01:10:57	28,166	262	0,049130257
01:10:58	28,154	263	0,048683279
01:10:59	28,157	264	0,048795024
01:11:00	28,144	265	0,048310798
01:11:01	28,13	266	0,047789325
01:11:02	28,119	267	0,047379595
01:11:03	28,12	268	0,047416844
01:11:04	28,097	269	0,046560137
01:11:05	28,093	270	0,046411145
01:11:06	28,089	271	0,046262152
01:11:07	28,074	272	0,045703431
01:11:08	28,066	273	0,045405446
01:11:09	28,055	274	0,044995716
01:11:10	28,044	275	0,044585987
01:11:11	28,044	276	0,044585987
01:11:12	28,035	277	0,044250754
01:11:13	28,023	278	0,043803777
01:11:14	28,017	279	0,043580288
01:11:15	28,006	280	0,043170559
01:11:16	28	281	0,04294707
01:11:17	27,993	282	0,042686334
01:11:18	27,982	283	0,042276604
01:11:19	27,969	284	0,041792379
01:11:20	27,963	285	0,04156889
01:11:21	27,956	286	0,041308154
01:11:22	27,945	287	0,040898424
01:11:23	27,935	288	0,040525943
01:11:24	27,925	289	0,040153462
01:11:25	27,918	290	0,039892725
01:11:26	27,913	291	0,039706485
01:11:27	27,914	292	0,039743733

Продовження таблиці Б.3

01:11:28	27,901	293	0,039259508
01:11:29	27,895	294	0,039036019
01:11:30	27,886	295	0,038700786
01:11:31	27,874	296	0,038253809
01:11:32	27,874	297	0,038253809
01:11:33	27,856	298	0,037583343
01:11:34	27,861	299	0,037769583
01:11:35	27,859	300	0,037695087
01:11:36	27,845	301	0,037173613
01:11:37	27,834	302	0,036763884
01:11:38	27,834	303	0,036763884
01:11:39	27,821	304	0,036279659
01:11:40	27,812	305	0,035944426
01:11:41	27,81	306	0,03586993
01:11:42	27,804	307	0,035646441
01:11:43	27,795	308	0,035311208
01:11:44	27,791	309	0,035162216
01:11:45	27,784	310	0,034901479
01:11:46	27,77	311	0,034380005
01:11:47	27,765	312	0,034193765
01:11:48	27,758	313	0,033933028
01:11:49	27,745	314	0,033448802
01:11:50	27,746	315	0,033486051
01:11:51	27,737	316	0,033150818
01:11:52	27,736	317	0,033113569
01:11:53	27,73	318	0,032890081
01:11:54	27,715	319	0,032331359
01:11:55	27,712	320	0,032219615
01:11:56	27,712	321	0,032219615
01:11:57	27,712	322	0,032219615
01:11:58	27,698	323	0,031698141
01:11:59	27,69	324	0,031400156
01:12:00	27,684	325	0,031176668
01:12:01	27,678	326	0,030953179
01:12:02	27,66	327	0,030282713
01:12:03	27,674	328	0,030804187
01:12:04	27,661	329	0,030319961
01:12:05	27,661	330	0,030319961
01:12:06	27,652	331	0,029984728
01:12:07	27,644	332	0,029686743
01:12:08	27,642	333	0,029612247
01:12:09	27,635	334	0,02935151
01:12:10	27,632	335	0,029239766
01:12:11	27,628	336	0,029090774
01:12:12	27,623	337	0,028904533
01:12:13	27,619	338	0,028755541
01:12:14	27,608	339	0,028345811
01:12:15	27,595	340	0,027861586
01:12:16	27,595	341	0,027861586

Продовження таблиці Б.3

01:12:17	27,588	342	0,027600849
01:12:18	27,586	343	0,027526353
01:12:19	27,579	344	0,027265616
01:12:20	27,573	345	0,027042128
01:12:21	27,567	346	0,026818639
01:12:22	27,567	347	0,026818639
01:12:23	27,565	348	0,026744143
01:12:24	27,559	349	0,026520654
01:12:25	27,547	350	0,026073677
01:12:26	27,543	351	0,025924684
01:12:27	27,54	352	0,02581294
01:12:28	27,537	353	0,025701196
01:12:29	27,533	354	0,025552203
01:12:30	27,53	355	0,025440459
01:12:31	27,524	356	0,02521697
01:12:32	27,523	357	0,025179722
01:12:33	27,519	358	0,02503073
01:12:34	27,512	359	0,024769993
01:12:35	27,509	360	0,024658249
01:12:36	27,503	361	0,02443476
01:12:37	27,499	362	0,024285767
01:12:38	27,495	363	0,024136775
01:12:39	27,491	364	0,023987783
01:12:40	27,484	365	0,023727046
01:12:41	27,479	366	0,023540805
01:12:42	27,47	367	0,023205572
01:12:43	27,467	368	0,023093828
01:12:44	27,457	369	0,022721347
01:12:45	27,465	370	0,023019332
01:12:46	27,458	371	0,022758595
01:12:47	27,455	372	0,022646851
01:12:48	27,455	373	0,022646851
01:12:49	27,448	374	0,022386114
01:12:50	27,447	375	0,022348866
01:12:51	27,44	376	0,022088129
01:12:52	27,439	377	0,022050881
01:12:53	27,433	378	0,021827392
01:12:54	27,423	379	0,021454911
01:12:55	27,419	380	0,021305919
01:12:56	27,421	381	0,021380415
01:12:57	27,411	382	0,021007934
01:12:58	27,414	383	0,021119678
01:12:59	27,411	384	0,021007934
01:13:00	27,403	385	0,020709949
01:13:01	27,403	386	0,020709949
01:13:02	27,403	387	0,020709949
01:13:03	27,392	388	0,02030022
01:13:04	27,395	389	0,020411964
01:13:05	27,39	390	0,020225724

Продовження таблиці Б.3

01:13:06	27,386	391	0,020076731
01:13:07	27,374	392	0,019629754
01:13:08	27,373	393	0,019592506
01:13:09	27,371	394	0,019518009
01:13:10	27,37	395	0,019480761
01:13:11	27,375	396	0,019667002
01:13:12	27,365	397	0,019294521
01:13:13	27,36	398	0,01910828
01:13:14	27,358	399	0,019033784
01:13:15	27,35	400	0,018735799
01:13:16	27,348	401	0,018661303
01:13:17	27,341	402	0,018400566
01:13:18	27,334	403	0,018139829
01:13:19	27,345	404	0,018549559
01:13:20	27,335	405	0,018177078
01:13:21	27,329	406	0,017953589
01:13:22	27,329	407	0,017953589
01:13:23	27,325	408	0,017804596
01:13:24	27,322	409	0,017692852
01:13:25	27,314	410	0,017394867
01:13:26	27,318	411	0,01754386
01:13:27	27,32	412	0,017618356
01:13:28	27,312	413	0,017320371
01:13:29	27,304	414	0,017022386
01:13:30	27,303	415	0,016985138
01:13:31	27,295	416	0,016687153
01:13:32	27,297	417	0,016761649
01:13:33	27,292	418	0,016575409
01:13:34	27,3	419	0,016873394
01:13:35	27,298	420	0,016798897
01:13:36	27,286	421	0,01635192
01:13:37	27,283	422	0,016240176
01:13:38	27,282	423	0,016202928
01:13:39	27,282	424	0,016202928
01:13:40	27,282	425	0,016202928
01:13:41	27,277	426	0,016016687
01:13:42	27,275	427	0,015942191
01:13:43	27,273	428	0,015867695
01:13:44	27,261	429	0,015420717
01:13:45	27,26	430	0,015383469
01:13:46	27,262	431	0,015457966
01:13:47	27,257	432	0,015271725
01:13:48	27,254	433	0,015159981
01:13:49	27,247	434	0,014899244
01:13:50	27,251	435	0,015048236
01:13:51	27,25	436	0,015010988
01:13:52	27,245	437	0,014824748
01:13:53	27,243	438	0,014750251
01:13:54	27,243	439	0,014750251

Продовження таблиці Б.3

01:13:55	27,243	440	0,014750251
01:13:56	27,238	441	0,014564011
01:13:57	27,235	442	0,014452267
01:13:58	27,239	443	0,014601259
01:13:59	27,234	444	0,014415018
01:14:00	27,239	445	0,014601259
01:14:01	27,234	446	0,014415018
01:14:02	27,225	447	0,014079785
01:14:03	27,223	448	0,014005289
01:14:04	27,217	449	0,013781801
01:14:05	27,219	450	0,013856297
01:14:06	27,212	451	0,01359556
01:14:07	27,216	452	0,013744552
01:14:08	27,212	453	0,01359556
01:14:09	27,211	454	0,013558312
01:14:10	27,211	455	0,013558312
01:14:11	27,202	456	0,013223079
01:14:12	27,203	457	0,013260327
01:14:13	27,196	458	0,01299959
01:14:14	27,199	459	0,013111335
01:14:15	27,195	460	0,012962342
01:14:16	27,196	461	0,01299959
01:14:17	27,194	462	0,012925094
01:14:18	27,191	463	0,01281335
01:14:19	27,192	464	0,012850598
01:14:20	27,186	465	0,012627109
01:14:21	27,172	466	0,012105636
01:14:22	27,186	467	0,012627109
01:14:23	27,178	468	0,012329124
01:14:24	27,177	469	0,012291876
01:14:25	27,18	470	0,012403621
01:14:26	27,18	471	0,012403621
01:14:27	27,172	472	0,012105636
01:14:28	27,165	473	0,011844899
01:14:29	27,166	474	0,011882147
01:14:30	27,169	475	0,011993891
01:14:31	27,17	476	0,012031139
01:14:32	27,165	477	0,011844899
01:14:33	27,165	478	0,011844899
01:14:34	27,164	479	0,011807651
01:14:35	27,159	480	0,01162141
01:14:36	27,159	481	0,01162141
01:14:37	27,154	482	0,01143517
01:14:38	27,152	483	0,011360673
01:14:39	27,149	484	0,011248929
01:14:40	27,15	485	0,011286177
01:14:41	27,149	486	0,011248929
01:14:42	27,149	487	0,011248929
01:14:43	27,146	488	0,011137185

Продовження таблиці Б.3

01:14:44	27,139	489	0,010876448
01:14:45	27,143	490	0,01102544
01:14:46	27,139	491	0,010876448
01:14:47	27,139	492	0,010876448
01:14:48	27,139	493	0,010876448
01:14:49	27,136	494	0,010764704
01:14:50	27,136	495	0,010764704
01:14:51	27,13	496	0,010541215
01:14:52	27,119	497	0,010131486
01:14:53	27,121	498	0,010205982
01:14:54	27,117	499	0,01005699
01:14:55	27,122	500	0,01024323
01:14:56	27,117	501	0,01005699
01:14:57	27,124	502	0,010317726
01:14:58	27,118	503	0,010094238
01:14:59	27,117	504	0,01005699
01:15:00	27,117	505	0,01005699
01:15:01	27,117	506	0,01005699
01:15:02	27,11	507	0,009796253
01:15:03	27,105	508	0,009610012
01:15:04	27,099	509	0,009386524
01:15:05	27,112	510	0,009870749
01:15:06	27,112	511	0,009870749
01:15:07	27,099	512	0,009386524
01:15:08	27,092	513	0,009125787
01:15:09	27,103	514	0,009535516
01:15:10	27,1	515	0,009423772
01:15:11	27,098	516	0,009349276
01:15:12	27,099	517	0,009386524
01:15:13	27,099	518	0,009386524
01:15:14	27,093	519	0,009163035
01:15:15	27,093	520	0,009163035
01:15:16	27,088	521	0,008976794
01:15:17	27,095	522	0,009237531
01:15:18	27,093	523	0,009163035
01:15:19	27,09	524	0,009051291
01:15:20	27,085	525	0,00886505
01:15:21	27,082	526	0,008753306
01:15:22	27,08	527	0,00867881
01:15:23	27,091	528	0,009088539
01:15:24	27,086	529	0,008902298
01:15:25	27,081	530	0,008716058
01:15:26	27,078	531	0,008604313
01:15:27	27,078	532	0,008604313
01:15:28	27,078	533	0,008604313
01:15:29	27,075	534	0,008492569
01:15:30	27,074	535	0,008455321
01:15:31	27,073	536	0,008418073
01:15:32	27,073	537	0,008418073

Продовження таблиці Б.3

01:15:33	27,061	538	0,007971095
01:15:34	27,065	539	0,008120088
01:15:35	27,066	540	0,008157336
01:15:36	27,066	541	0,008157336
01:15:37	27,059	542	0,007896599
01:15:38	27,059	543	0,007896599
01:15:39	27,057	544	0,007822103
01:15:40	27,06	545	0,007933847
01:15:41	27,062	546	0,008008344
01:15:42	27,052	547	0,007635862
01:15:43	27,043	548	0,007300629
01:15:44	27,055	549	0,007747607
01:15:45	27,054	550	0,007710359
01:15:46	27,051	551	0,007598614
01:15:47	27,048	552	0,00748687
01:15:48	27,038	553	0,007114389
01:15:49	27,045	554	0,007375126
01:15:50	27,046	555	0,007412374
01:15:51	27,043	556	0,007300629
01:15:52	27,038	557	0,007114389
01:15:53	27,044	558	0,007337878
01:15:54	27,047	559	0,007449622
01:15:55	27,042	560	0,007263381
01:15:56	27,04	561	0,007188885
01:15:57	27,029	562	0,006779156
01:15:58	27,041	563	0,007226133
01:15:59	27,034	564	0,006965397
01:16:00	27,04	565	0,007188885
01:16:01	27,034	566	0,006965397
01:16:02	27,028	567	0,006741908
01:16:03	27,035	568	0,007002645
01:16:04	27,035	569	0,007002645
01:16:05	27,024	570	0,006592915
01:16:06	27,03	571	0,006816404
01:16:07	27,03	572	0,006816404
01:16:08	27,029	573	0,006779156
01:16:09	27,017	574	0,006332179
01:16:10	27,017	575	0,006332179
01:16:11	27,029	576	0,006779156
01:16:12	27,03	577	0,006816404
01:16:13	27,028	578	0,006741908
01:16:14	27,024	579	0,006592915
01:16:15	27,026	580	0,006667412
01:16:16	27,026	581	0,006667412
01:16:17	27,021	582	0,006481171
01:16:18	27,013	583	0,006183186
01:16:19	27,021	584	0,006481171
01:16:20	27,013	585	0,006183186
01:16:21	27,008	586	0,005996946

Продовження таблиці Б.3

01:16:22	27,01	587	0,006071442
01:16:23	27,017	588	0,006332179
01:16:24	27,017	589	0,006332179
01:16:25	27,021	590	0,006481171
01:16:26	27,009	591	0,006034194
01:16:27	27,013	592	0,006183186
01:16:28	27,01	593	0,006071442
01:16:29	27,006	594	0,005922449
01:16:30	27,012	595	0,006145938
01:16:31	27,002	596	0,005773457
01:16:32	27,003	597	0,005810705
01:16:33	27,005	598	0,005885201
01:16:34	27	599	0,005698961
01:16:35	26,999	600	0,005661713
01:16:36	27,004	601	0,005847953
01:16:37	26,995	602	0,00551272
01:16:38	27,001	603	0,005736209
01:16:39	26,999	604	0,005661713
01:16:40	27,004	605	0,005847953
01:16:41	27,004	606	0,005847953
01:16:42	26,999	607	0,005661713
01:16:43	26,995	608	0,00551272
01:16:44	26,991	609	0,005363728
01:16:45	26,993	610	0,005438224
01:16:46	26,986	611	0,005177487
01:16:47	26,993	612	0,005438224
01:16:48	26,989	613	0,005289232
01:16:49	26,991	614	0,005363728
01:16:50	26,988	615	0,005251983
01:16:51	26,986	616	0,005177487
01:16:52	26,994	617	0,005475472
01:16:53	26,993	618	0,005438224
01:16:54	26,986	619	0,005177487
01:16:55	26,991	620	0,005363728
01:16:56	26,983	621	0,005065743
01:16:57	26,981	622	0,004991247
01:16:58	26,975	623	0,004767758
01:16:59	26,981	624	0,004991247
01:17:00	26,976	625	0,004805006
01:17:01	26,974	626	0,00473051
01:17:02	26,971	627	0,004618766
01:17:03	26,978	628	0,004879502
01:17:04	26,98	629	0,004953999
01:17:05	26,973	630	0,004693262
01:17:06	26,969	631	0,004544269
01:17:07	26,969	632	0,004544269
01:17:08	26,976	633	0,004805006
01:17:09	26,971	634	0,004618766
01:17:10	26,958	635	0,00413454



Продовження таблиці Б.3

01:17:11	26,967	636	0,004469773
01:17:12	26,962	637	0,004283533
01:17:13	26,975	638	0,004767758
01:17:14	26,974	639	0,00473051
01:17:15	26,973	640	0,004693262
01:17:16	26,966	641	0,004432525
01:17:17	26,972	642	0,004656014
01:17:18	26,972	643	0,004656014
01:17:19	26,969	644	0,004544269
01:17:20	26,965	645	0,004395277
01:17:21	26,963	646	0,004320781
01:17:22	26,973	647	0,004693262
01:17:23	26,97	648	0,004581517
01:17:24	26,964	649	0,004358029
01:17:25	26,963	650	0,004320781
01:17:26	26,964	651	0,004358029
01:17:27	26,969	652	0,004544269
01:17:28	26,96	653	0,004209036
01:17:29	26,96	654	0,004209036
01:17:30	26,956	655	0,004060044
01:17:31	26,952	656	0,003911052
01:17:32	26,955	657	0,004022796
01:17:33	26,949	658	0,003799307
01:17:34	26,959	659	0,004171788
01:17:35	26,96	660	0,004209036
01:17:36	26,955	661	0,004022796
01:17:37	26,952	662	0,003911052
01:17:38	26,952	663	0,003911052
01:17:39	26,956	664	0,004060044
01:17:40	26,955	665	0,004022796
01:17:41	26,947	666	0,003724811
01:17:42	26,957	667	0,004097292
01:17:43	26,952	668	0,003911052
01:17:44	26,951	669	0,003873803
01:17:45	26,941	670	0,003501322
01:17:46	26,943	671	0,003575819
01:17:47	26,946	672	0,003687563
01:17:48	26,94	673	0,003464074
01:17:49	26,947	674	0,003724811
01:17:50	26,947	675	0,003724811
01:17:51	26,945	676	0,003650315
01:17:52	26,943	677	0,003575819
01:17:53	26,946	678	0,003687563
01:17:54	26,942	679	0,00353857
01:17:55	26,94	680	0,003464074
01:17:56	26,945	681	0,003650315
01:17:57	26,941	682	0,003501322
01:17:58	26,939	683	0,003426826
01:17:59	26,945	684	0,003650315

Продовження таблиці Б.3

01:18:00	26,941	685	0,003501322
01:18:01	26,943	686	0,003575819
01:18:02	26,944	687	0,003613067
01:18:03	26,945	688	0,003650315
01:18:04	26,926	689	0,002942601
01:18:05	26,932	690	0,003166089
01:18:06	26,938	691	0,003389578
01:18:07	26,931	692	0,003128841
01:18:08	26,933	693	0,003203337
01:18:09	26,935	694	0,003277834
01:18:10	26,933	695	0,003203337
01:18:11	26,945	696	0,003650315
01:18:12	26,934	697	0,003240586
01:18:13	26,926	698	0,002942601
01:18:14	26,925	699	0,002905353
01:18:15	26,93	700	0,003091593
01:18:16	26,927	701	0,002979849
01:18:17	26,926	702	0,002942601
01:18:18	26,927	703	0,002979849
01:18:19	26,932	704	0,003166089
01:18:20	26,928	705	0,003017097
01:18:21	26,93	706	0,003091593
01:18:22	26,925	707	0,002905353
01:18:23	26,923	708	0,002830856
01:18:24	26,928	709	0,003017097
01:18:25	26,921	710	0,00275636
01:18:26	26,924	711	0,002868104
01:18:27	26,926	712	0,002942601
01:18:28	26,93	713	0,003091593
01:18:29	26,919	714	0,002681864
01:18:30	26,926	715	0,002942601
01:18:31	26,915	716	0,002532871
01:18:32	26,922	717	0,002793608
01:18:33	26,916	718	0,00257012
01:18:34	26,921	719	0,00275636
01:18:35	26,925	720	0,002905353
01:18:36	26,928	721	0,003017097
01:18:37	26,921	722	0,00275636
01:18:38	26,929	723	0,003054345
01:18:39	26,923	724	0,002830856
01:18:40	26,919	725	0,002681864
01:18:41	26,919	726	0,002681864
01:18:42	26,918	727	0,002644616
01:18:43	26,912	728	0,002421127
01:18:44	26,917	729	0,002607368
01:18:45	26,91	730	0,002346631
01:18:46	26,908	731	0,002272135
01:18:47	26,915	732	0,002532871
01:18:48	26,919	733	0,002681864

Продовження таблиці Б.3

01:18:49	26,912	734	0,002421127
01:18:50	26,909	735	0,002309383
01:18:51	26,904	736	0,002123142
01:18:52	26,903	737	0,002085894
01:18:53	26,912	738	0,002421127
01:18:54	26,914	739	0,002495623
01:18:55	26,909	740	0,002309383
01:18:56	26,908	741	0,002272135
01:18:57	26,919	742	0,002681864
01:18:58	26,905	743	0,00216039
01:18:59	26,912	744	0,002421127
01:19:00	26,903	745	0,002085894
01:19:01	26,904	746	0,002123142
01:19:02	26,912	747	0,002421127
01:19:03	26,909	748	0,002309383
01:19:04	26,907	749	0,002234887
01:19:05	26,909	750	0,002309383
01:19:06	26,912	751	0,002421127
01:19:07	26,904	752	0,002123142
01:19:08	26,906	753	0,002197638
01:19:09	26,907	754	0,002234887
01:19:10	26,907	755	0,002234887
01:19:11	26,908	756	0,002272135
01:19:12	26,902	757	0,002048646
01:19:13	26,893	758	0,001713413
01:19:14	26,904	759	0,002123142
01:19:15	26,904	760	0,002123142
01:19:16	26,905	761	0,00216039
01:19:17	26,904	762	0,002123142
01:19:18	26,9	763	0,00197415
01:19:19	26,904	764	0,002123142
01:19:20	26,902	765	0,002048646
01:19:21	26,9	766	0,00197415
01:19:22	26,898	767	0,001899654
01:19:23	26,901	768	0,002011398
01:19:24	26,904	769	0,002123142
01:19:25	26,898	770	0,001899654
01:19:26	26,91	771	0,002346631
01:19:27	26,904	772	0,002123142
01:19:28	26,9	773	0,00197415
01:19:29	26,897	774	0,001862405
01:19:30	26,89	775	0,001601669
01:19:31	26,897	776	0,001862405
01:19:32	26,904	777	0,002123142
01:19:33	26,902	778	0,002048646
01:19:34	26,903	779	0,002085894
01:19:35	26,896	780	0,001825157
01:19:36	26,902	781	0,002048646
01:19:37	26,896	782	0,001825157

Продовження таблиці Б.3

01:19:38	26,9	783	0,00197415
01:19:39	26,897	784	0,001862405
01:19:40	26,886	785	0,001452676
01:19:41	26,889	786	0,001564421
01:19:42	26,891	787	0,001638917
01:19:43	26,893	788	0,001713413
01:19:44	26,895	789	0,001787909
01:19:45	26,887	790	0,001489924
01:19:46	26,887	791	0,001489924
01:19:47	26,888	792	0,001527172
01:19:48	26,892	793	0,001676165
01:19:49	26,892	794	0,001676165
01:19:50	26,883	795	0,001340932
01:19:51	26,882	796	0,001303684
01:19:52	26,886	797	0,001452676
01:19:53	26,882	798	0,001303684
01:19:54	26,891	799	0,001638917
01:19:55	26,889	800	0,001564421
01:19:56	26,895	801	0,001787909
01:19:57	26,891	802	0,001638917
01:19:58	26,878	803	0,001154691
01:19:59	26,888	804	0,001527172
01:20:00	26,882	805	0,001303684
01:20:01	26,881	806	0,001266436
01:20:02	26,888	807	0,001527172
01:20:03	26,884	808	0,00137818
01:20:04	26,877	809	0,001117443
01:20:05	26,89	810	0,001601669
01:20:06	26,886	811	0,001452676
01:20:07	26,882	812	0,001303684
01:20:08	26,882	813	0,001303684
01:20:09	26,886	814	0,001452676
01:20:10	26,886	815	0,001452676
01:20:11	26,879	816	0,00119194
01:20:12	26,882	817	0,001303684
01:20:13	26,886	818	0,001452676
01:20:14	26,891	819	0,001638917
01:20:15	26,882	820	0,001303684
01:20:16	26,886	821	0,001452676
01:20:17	26,893	822	0,001713413
01:20:18	26,881	823	0,001266436
01:20:19	26,878	824	0,001154691
01:20:20	26,881	825	0,001266436
01:20:21	26,882	826	0,001303684
01:20:22	26,882	827	0,001303684
01:20:23	26,878	828	0,001154691
01:20:24	26,875	829	0,001042947
01:20:25	26,882	830	0,001303684
01:20:26	26,874	831	0,001005699

Продовження таблиці Б.3

01:20:27	26,875	832	0,001042947
01:20:28	26,877	833	0,001117443
01:20:29	26,881	834	0,001266436
01:20:30	26,882	835	0,001303684
01:20:31	26,882	836	0,001303684
01:20:32	26,882	837	0,001303684
01:20:33	26,878	838	0,001154691
01:20:34	26,878	839	0,001154691
01:20:35	26,873	840	0,000968451
01:20:36	26,874	841	0,001005699
01:20:37	26,875	842	0,001042947
01:20:38	26,873	843	0,000968451
01:20:39	26,879	844	0,00119194
01:20:40	26,877	845	0,001117443
01:20:41	26,877	846	0,001117443
01:20:42	26,864	847	0,000633218
01:20:43	26,873	848	0,000968451
01:20:44	26,877	849	0,001117443
01:20:45	26,873	850	0,000968451
01:20:46	26,877	851	0,001117443
01:20:47	26,874	852	0,001005699
01:20:48	26,867	853	0,000744962
01:20:49	26,863	854	0,00059597
01:20:50	26,864	855	0,000633218
01:20:51	26,869	856	0,000819458
01:20:52	26,878	857	0,001154691
01:20:53	26,87	858	0,000856707
01:20:54	26,87	859	0,000856707
01:20:55	26,871	860	0,000893955
01:20:56	26,873	861	0,000968451
01:20:57	26,873	862	0,000968451
01:20:58	26,866	863	0,000707714
01:20:59	26,866	864	0,000707714
01:21:00	26,866	865	0,000707714
01:21:01	26,871	866	0,000893955
01:21:02	26,869	867	0,000819458
01:21:03	26,866	868	0,000707714
01:21:04	26,865	869	0,000670466
01:21:05	26,856	870	0,000335233
01:21:06	26,852	871	0,000186241
01:21:07	26,86	872	0,000484225
01:21:08	26,855	873	0,000297985
01:21:09	26,861	874	0,000521474
01:21:10	26,857	875	0,000372481
01:21:11	26,873	876	0,000968451
01:21:12	26,866	877	0,000707714
01:21:13	26,86	878	0,000484225
01:21:14	26,865	879	0,000670466
01:21:15	26,865	880	0,000670466

Продовження таблиці Б.3

01:21:16	26,856	881	0,000335233
01:21:17	26,857	882	0,000372481
01:21:18	26,865	883	0,000670466
01:21:19	26,857	884	0,000372481
01:21:20	26,859	885	0,000446977
01:21:21	26,86	886	0,000484225
01:21:22	26,856	887	0,000335233
01:21:23	26,852	888	0,000186241
01:21:24	26,861	889	0,000521474
01:21:25	26,861	890	0,000521474
01:21:26	26,853	891	0,000223489
01:21:27	26,858	892	0,000409729
01:21:28	26,862	893	0,000558722
01:21:29	26,862	894	0,000558722
01:21:30	26,862	895	0,000558722
01:21:31	26,861	896	0,000521474
01:21:32	26,85	897	0,000111744
01:21:33	26,856	898	0,000335233
01:21:34	26,847	899	0
01:21:35	26,851	900	0,000148992
01:21:36	26,856	901	0,000335233
01:21:37	26,848	902	3,72481E-05
01:21:38	26,854	903	0,000260737
01:21:39	26,853	904	0,000223489
01:21:40	26,856	905	0,000335233
01:21:41	26,863	906	0,00059597
01:21:42	26,858	907	0,000409729
01:21:43	26,861	908	0,000521474
01:21:44	26,859	909	0,000446977
01:21:45	26,853	910	0,000223489
01:21:46	26,853	911	0,000223489
01:21:47	26,853	912	0,000223489
01:21:48	26,853	913	0,000223489
01:21:49	26,856	914	0,000335233
01:21:50	26,854	915	0,000260737
01:21:51	26,858	916	0,000409729
01:21:52	26,851	917	0,000148992
01:21:53	26,851	918	0,000148992
01:21:54	26,852	919	0,000186241
01:21:55	26,852	920	0,000186241
01:21:56	26,847	921	0
01:21:57	26,849	922	7,44962E-05
01:21:58	26,851	923	0,000148992

Таблиця Б.4 – Результати експериментів - температура

час	№1	№2	№3
0	20	24	22
5	101	93	81
10	116	109	95
15	130	124	103
20	142	138	110
25	157	148	114
30	168	159	118
35	180	168	122
40	190	179	125
45	198	186	128
50	206	193	131
55	213	200	134
60	220	206	136
65	227	210	139
70	234	216	142
75	240	220	145
80	247	225	148
85	252	229	151
90	258	232	155
95	262	234	159
100	269	238	163
105	275	241	168
110	282	246	173
115	288	247	178
120	295	250	183
125	300	254	189
130	308	257	194
135	315	258	199
140	322	259	204
145	328	260	208
150	334	263	213
155	343	264	217
160	347	267	222
165	352	268	226
170	357	269	231
175	362	271	235
180	367	273	239
185	369	276	243
190	376	280	247
195	380	281	251
200	383	284	254
205	386	285	259
210	389	290	263
215	392	291	266
220	394	295	270
225	397	300	275
230	398	305	278
235	401	308	282

Продовження таблиці Б.4

240	402	313	287
245	404	316	291
250	407	317	295
255	407	324	299
260	408	326	303
265	409	329	307
270	411	333	311
275	413	337	314
280	413	340	319
285	414	341	323
290	416	343	328
295	417	348	331
300	418	352	335
305	417	353	340
310	419	358	344
315	420	361	347
320	422	364	350
325	422	366	355
330	422	369	357
335	422	372	360
340	423	374	364
345	424	374	367
350	423	379	370
355	425	379	373
360	426	380	376
365	425	381	378
370	424	385	381
375	425	385	382
380	427	387	385
385	426	390	387
390	427	393	390
395	426	396	392
400	427	396	392
405	428	398	394
410	428	398	397
415	428	401	399
420	427	399	401
425	428	401	403
430	429	402	404
435	428	403	406
440	429	405	407
445	429	405	408
450	429	406	409
455	430	407	411
460	429	407	412
465	430	408	414
470	429	409	415
475	430	411	415
480	431	412	416



Продовження таблиці Б.4

485	429	412	418
490	429	412	419
495	430	413	420
500	430	414	421
505	430	414	423
510	430	416	424
515	431	418	424
520	431	417	424
525	433	416	425
530	432	420	426
535	431	420	426
540	432	419	427
545	432	421	428
550	432	422	428
555	432	421	430
560	432	422	430
565	434	420	431
570	434	422	432
575	433	422	432
580	432	425	433
585	434	424	433
590	434	424	433
595	434	423	434
600	434	424	434
605	433	424	435
610	434	426	435
615	434	424	436
620	433	426	436
625	434	425	436
630	434	426	437
635	435	429	437
640	435	426	438
645	435	427	438
650	433	429	438
655	433	430	439
660	434	428	440
665	433	427	440
670	434	429	440
675	434	428	440
680	434	427	440
685	433	428	440
690	433	429	440
695	434	428	441
700	434	429	441
705	434	429	441
710	433	429	443
715	433	427	442
720	434	428	442
725	434	429	443

Продовження таблиці Б.4

730	433	430	443
735	433	430	442
740	432	428	443
745	432	430	443
750	432	431	443
755	433	430	444
760	432	431	445
765	432	430	445
		431	445
		429	445
		430	445
		430	445
		430	445
		430	446
		430	446
		430	445
		432	447
		430	446
		431	446
		430	446
		430	447
		430	447
		430	447
		430	447
		429	447
		430	446
		430	447
		430	448
		429	447
		430	447
		432	448
		428	447
		431	447
			448
			448
			448
			448
			448
			449
			448

**Додаток В. Експериментальне визначення коефіцієнту гідравлічного опору  
газорозподільчого пристрою**

## Опис експериментальної установки для дослідження гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою

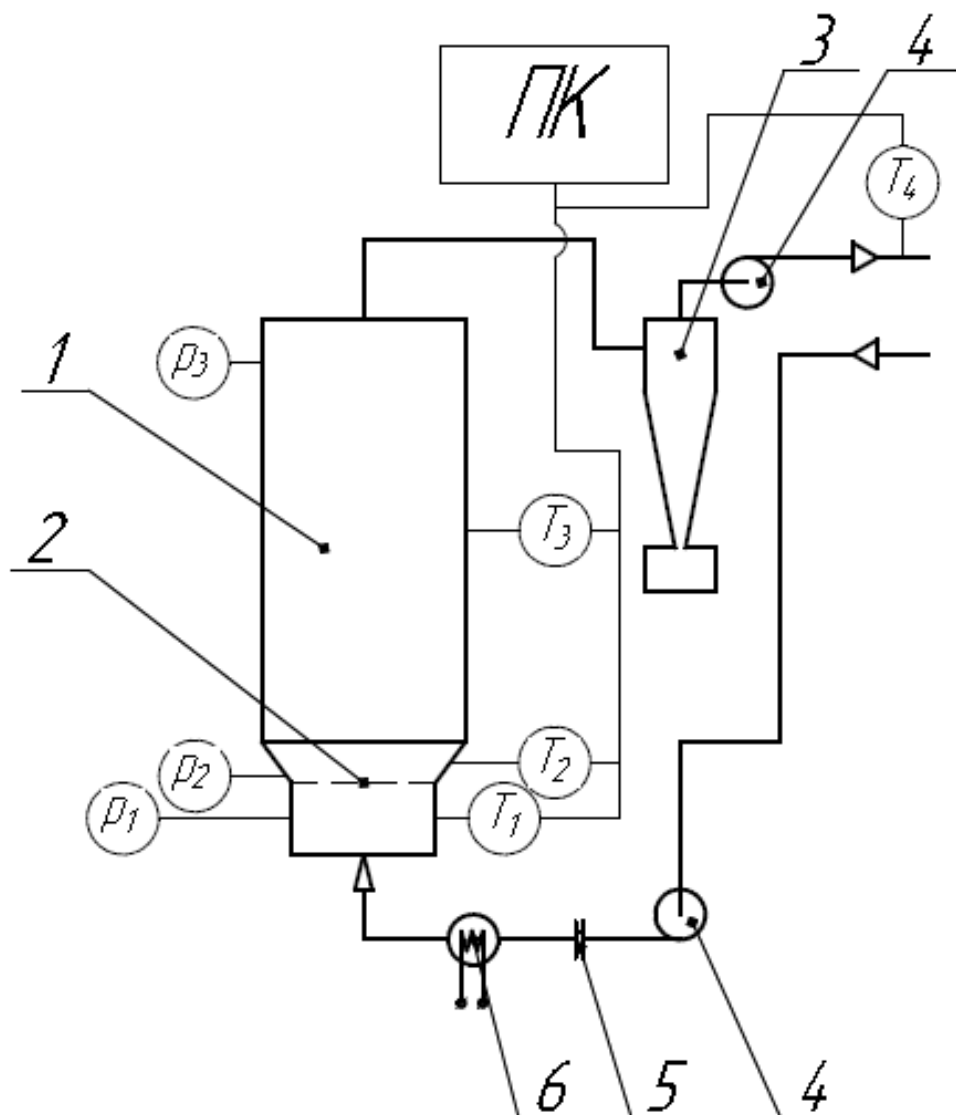


Рисунок В.1 – Експериментальна установка для дослідження гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою

Експериментальна установка для дослідження гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою (рис. В.1) складається з апарату псевдозрідженого шару 1 з газорозподільчим пристроєм 2, циклона 3, вентиляторів 4, витратоміра 5 та калорифера 6. Експериментальна установка призначена для дослідження гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою, а також для підтвердження відповідності часу сушіння цеоліту в апараті та в сушильній камері.

## Методика проведення експериментів з визначення гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою

При проведенні експериментів з визначення гідравлічного опору газорозподільчого пристрою 2 використано дослідну установку, наведену на рисунку 3.4. Експеримент полягає в тому, щоб при заданому кроці за подачею повітря, визначити гідравлічний опір газорозподільчого пристрою 2 апарату 1, з побудовою математичної залежності гідравлічного опору від подачі повітря, яка представляє собою пряму що проходить через центр координат та зростає. Таким чином, тангенс кута нахилу прямої має чисельно дорівнювати коефіцієнту гідравлічного опору газорозподільчого пристрою. Завдяки визначенню коефіцієнту гідравлічного опору решітки можна буде масштабувати решітку для апарату будь-яких розмірів, та враховувати це при розрахунку подачі теплоносія.

Показники масових витрат за діафрагмою, отримані на дифманометрі, визначаються за ГОСТ 8.586.1-2005:

$$q_{\Pi} = \frac{\pi d^2}{4} C E \varepsilon \sqrt{2 \rho \Delta p_d}, \quad (\text{B.1})$$

де  $d$  – діаметр діафрагми, м;

$C$  – коефіцієнт течії ( $C = 1$  при повному проходженні через діафрагму);

$E$  – коефіцієнт швидкості на вході ( $E = 1$ , якщо немає перешкод на вході в діафрагму);

$\varepsilon$  – коефіцієнт розширення ( $\varepsilon = 1$ , якщо діаметр труби після діафрагми такий самий, як і до діафрагми);

$\rho$  – густина повітря при температурі випробувань,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\Delta p_d$  – перепад тиску на діафрагмі, Па (1 мм в. ст. = 10 Па).

Після цього перераховуємо масові витрати в об'ємні за формулою:

$$L = \frac{q}{\rho}. \quad (\text{B.2})$$

Визначаємо швидкість руху повітря на вході в апарат за формулою:

$$w_a = \frac{L}{F_a}, \quad (\text{B.3})$$

де  $F_a$  – площа перерізу дифузора на вході в апарат,  $\text{м}^2$ .

Після цього, розраховуємо коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільчого пристрою за гідродинамічним тиском:

$$\xi = \frac{2\Delta p_{\Gamma}}{\rho w_a^2}, \quad (\text{B.4})$$

де  $\Delta p_{\Gamma}$  – перепад тиску на ГРП, Па.

### Результати експериментів з визначення гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою

Результати експериментальних досліджень гідравлічних характеристик газорозподільчого пристрою наведено в Додатку В. За результатами експериментальних даних побудовано графічну залежність гідравлічного опору (перепаду тисків) від гідродинамічного тиску (рис. В.2).

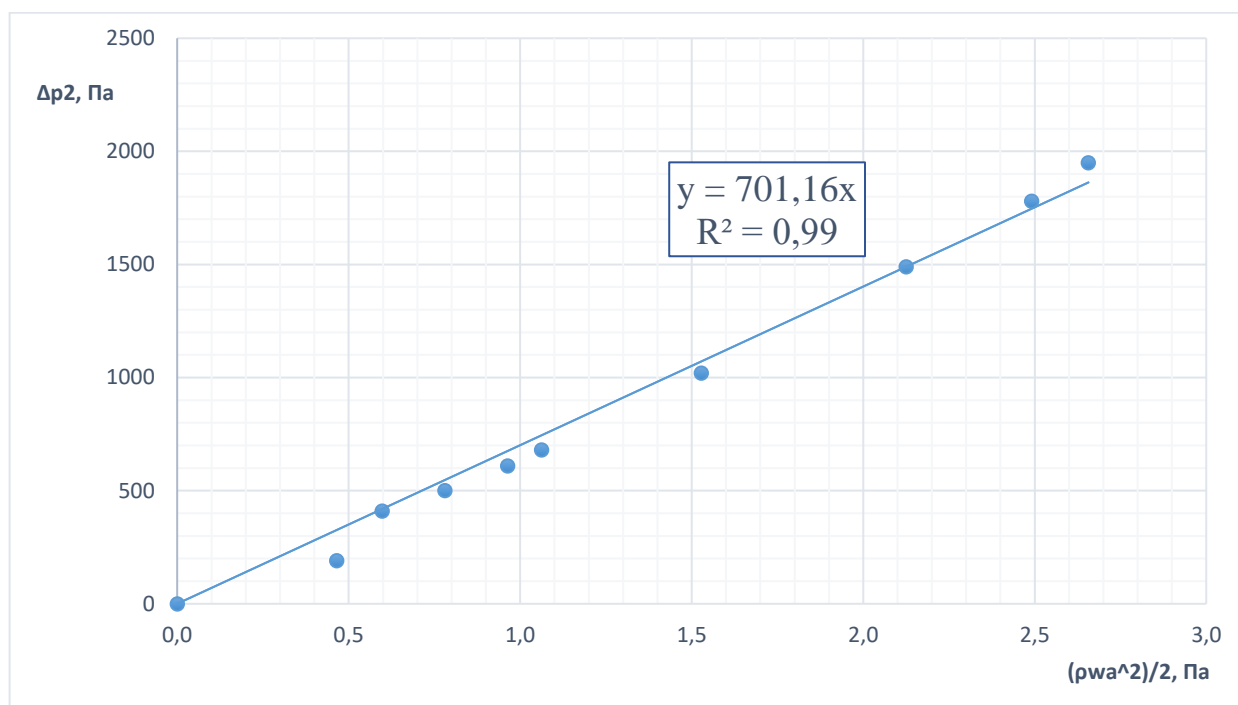


Рисунок В.2 – Залежність гідравлічного опору газорозподільчого пристрою від гідродинамічного тиску

Як вказано на рисунку В.2, коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільчого пристрою становить  $\xi = 701,16$ , а величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0,99 \approx 1$ , що доводить адекватність рівняння регресії.

## **Додаток Г. Фактори ризику стартап проекту**

Таблиця Г.1 – Фактори загроз та можливостей

Фактор	Можливість	Загроза	Можлива реакція компанії	
1	2	3	4	
Політико-правового середовища	Своєчасний патентний захист розробок	Використання унікальних технологій та пасивний прибуток від надання ліцензій	Обходження патентів конкурентами	Правильне формулювання патентів та використання юристів компанії для максимального захисту
	Сертифікація якості продукції	Використання отриманих сертифікатів як конкурентної переваги	Втрата часу	Пошук та застосування шляхів пришвидшення отримання всіх необхідних сертифікатів (міжнародного рівня) заздалегідь та пошук можливості своєчасного продовження дії сертифікатів
Економічного середовища	Проходження нормативних комісій з питань санітарних норм та техніки безпеки виробничих потужностей та офісних приміщень	Завчасне врахування правил та норм за якими будуть перевіряти	Корупція та втрата часу	Проходження міжнародної комісії з даних питань (TUV, AMI та ін.)
	Економічна криза	Відсутність конкурентів	Втрата прибутку	Орієнтація на суміжні проекти
	Зовнішні інвестиції	Прискорення реалізації або розширення проектів	Збільшення терміну окупності в порівнянні з розрахунковим	Залучення зарубіжних інвесторів
	Падіння мажоритарності	Відкриття нових проектів та розширення портфелю	Банкротство	Відкриття нових проектів, розширення портфелю, орієнтація на зарубіжні ринки, розширення (звуження) цільової аудиторії та технічні покращення



Продовження таблиці Г.1

	1	2	3	4
Науково-технічного середовища	Поява нових розробок у конкурентів	Розробка нових альтернатив та покращення якості продукції	Втрата стійкої ринкової позиції	Розробка та патентування нових технічних рішень із постійним пошуком (готуватись завчасно) – науково-технічний відділ та конструкторське бюро
	Неетична гра конкурентів (обходження патентів) та промисловий шпигунство	Здобуття перемоги в суді та позбавлення від конкурента	Втрата потенційно нових вдалих розробок та унікальності на ринку	Грамотне патентування розробок із метою ускладнення або унеможливлення плагіату
	Наукові виставки та конференції	Демонстрація свого та вивчення чужого наукового потенціалу	Можливий плагіат з боку конкурентів	Виставлення лише запатентованих розробок
Демографічного середовища	Зменшення народжуваності і збільшення смертності та захворюваності населення	Збільшення рівню продажу екологічно-чистої продукції	Поява сильних конкурентів	Наголошення на екологічності та ефективності продукції шляхом розповсюдження реклами в ЗМІ
Соціокультурного середовища	Створення легенд довкола нашої продукції або продукції конкурентів	Використання для підвищення рейтингів	Створення негативної репутації для нас, або позитивної для конкурентів	Правильне використання зворотного зв'язку з клієнтами та публічне висвітлення реальних фактів, які будуть спростовувати непотрібні легенди

**Додаток Д. Лист від потенційного замовника**



ТОВ «ЮРІЯ-ФАРМ», Код ЄДРПОУ 30109129, 03680, м. Київ, вул. М. Амосова, 10, п/р № 26009539628500 в ПАТ «УкрСиббанк»  
м. Київ, МФО 351005, ІПН 301091226585, Свідоцтво платника ПДВ № 36097919, Платник податку на загальних підставах  
тел./факс (044) 275-01-08, e-mail: [uf@uf.ua](mailto:uf@uf.ua)

Вих. № 441 « 18 » березня 2019 р.

Завідувачу кафедри МАХНВ  
Доктору технічних наук  
Корнієнку Я.М.

ТОВ «Юрія-Фарм» засвідчує Вам свою повагу та наступним листом повідомляємо, що нами розглянута магістерська дисертація Маргаряна А.А. на тему «Процес сушіння цеоліту». Висловлюємо зацікавленість в подальшому дослідженні даної теми у зв'язку з намірами проведення робіт з розробки та виведення на ринок функціональних засобів з сорбційно-детоксикаційною дією.

Менеджер з управління групою продуктів  
Стратегічного напрямку «Медичні вироби»

Іванова К.С.

**Додаток Е. Технічне завдання від компанії «Цеоліт-Біо»**



*Товариство з обмеженою відповідальністю*

**"Цеоліт Біо"**

*Україна, 90400, Закарпатська обл., м. Хуст, вул. Заводська, 1 А, тел: (050) 332-2184,  
(044) 278-8210, (050) 417-42-22, факс: (044) 278-82-10, код ОКПО 39749198, код за ЄДРПОУ банку  
09312190, р/р № 26009300545385 в ПАТ Держаний ощадний банк України.  
МФО 312356, індивідуальний податковий номер - 397491907171  
e-mail: zeolitbio@gmail.com, сайт: www.zeolitbio.com.ua*

---

**Техническое задание на сушильную установку :**

1. Производительность по выходу готового продукта : 2 тонны в час
2. Влажность исходного материала перед сушкой: 19%
3. Влажность высушенного материала : от 1% до 4%
4. Критическая температура при сушке – 400 градусов Цельсия
5. Вид теплоносителя : рассмотреть оба варианта – дымовые газы и через теплообменник нагретым воздух
6. Средняя годовая температура в Хусте : 9,4 градуса Цельсия
7. Средняя влажность в Хусте : 60-70%

## **Додаток Ж. Патент на корисну модель**









ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 114591

(13) U

(51) МПК

F26B 17/10 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 09995	(72) Винахідник(и):	Марчевський Віктор Миколайович (UA), Улітько Роман Миколайович (UA), Маргарян Артем Арманович (UA), Зайцев Сергій Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки:	30.09.2016	(73) Власник(и):	НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.03.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.03.2017, Бюл.№ 5		

## (54) АПАРАТ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

### (57) Реферат:

Апарат псевдозрідженого шару містить корпус, лоток для подачі оброблюваного матеріалу, патрубки для подачі та відводу теплоносія, між дифуззором і корпусом встановлена газорозподільна пластина з отворами у вигляді випуклостей прямокутної форми з щілиноподібними отворами для виходу газу. Випуклості на газорозподільній пластині мають продовговату форму та розміщені паралельними рядами у шаховому порядку.

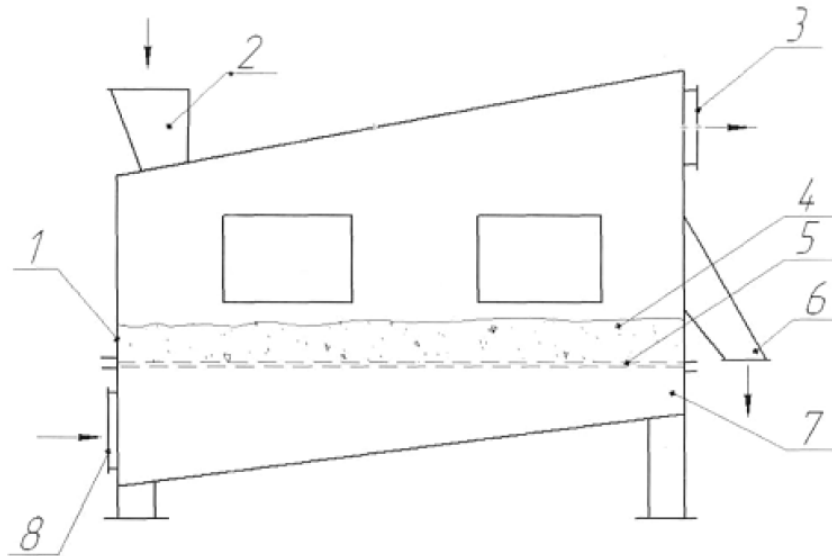


Fig. 1

UA 114591 U

Корисна модель належить до апаратів для сушіння, дегідратації, грануляції, нанесення покриття, горіння, каталізу та хімічних перетворень дисперсних матеріалів і може бути застосована в хімічній, харчовій і споріднених з ними галузях.

Відома сушарка з киплячим шаром, у вигляді вертикальної камери сушіння, що складається з вертикального циліндричного корпусу, на якому розміщені патрубки для підведення та відведення теплоносія, та патрубки підведення та відведення продукту, в корпусі встановлено газорозподільну решітку, призначену для сушіння, та газорозподільну решітку для охолодження, під решітками встановлено спеціальні профілі для направлення руху теплоносія [1].

Недоліками відомої сушарки є велика металоємність і габарити, складність обслуговування і санітарної обробки.

Найбільш близьким за технічною суттю є апарат псевдозрідженого шару, що містить корпус прямокутного поперечного перерізу, на якому змонтовані завантажувальний лоток та розвантажувальний штуцер, патрубок для виведення відпрацьованого сушильного агента, дифузор для подачі і розподілення сушильного агента та газорозподільну пластину з отворами у вигляді випуклостей і вм'ятин, розташованих на поверхні пластини, де відбувається процес псевдозрідження та висушування продукту.

Недоліками цього апарата є нерівномірний розподіл потоку теплоносія, низька стійкість киплячого шару, та просипання дрібних частинок сипучих матеріалів під газорозподільну пластину, що зумовлює пригорання та втрату продукту і погіршує його якість [2].

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення апарата псевдозрідженого шару шляхом зміни конструкції отворів газорозподільної пластини, в результаті чого збільшується стійкість псевдозрідженого шару.

Поставлена задача вирішується тим, що апарат псевдозрідженого шару містить корпус, лоток для подачі оброблюваного матеріалу, патрубки для подачі та відводу теплоносія, між дифузореом і корпусом встановлена газорозподільна пластина з отворами у вигляді випуклостей прямокутної форми із щілиноподібними отворами для виходу газу.

Новим є те, що випуклості на горизонтальній пластині мають продовговату форму та розміщені паралельними рядами в шахматному порядку.

Новим є також те, що зовнішня поверхня випуклостей на пластині має хвилясту форму.

Суть корисної моделі пояснює креслення.

На фіг. 1 зображено апарат псевдозрідженого шару.

На фіг. 2 вигляд зверху на газорозподільну пластину 5.

На фіг. 3 розріз по А-А випуклості 9, зображеної на фіг. 2.

На фіг. 4 розріз по Б-Б випуклості 9, зображеної на фіг. 2.

На фіг. 5 розріз вздовж осі випуклості хвилястої форми на зовнішній поверхні 12.

Апарат псевдозрідженого шару містить корпус 1 з лотком 2 для подачі матеріалу, патрубок 3 для відводу відпрацьованого теплоносія, шар сипучого матеріалу 4, який розміщений на газорозподільній пластині 5, патрубок 6, через який видаляється готовий матеріал. В дифузор 7 через патрубок 8 підводиться теплоносієм. Між дифузореом і корпусом встановлена газорозподільна пластина 5 з випуклостями 9, в торцях яких розташовані отвори 10 (11) для проходу теплоносія, які мають прямокутну продовговату форму та над ними розміщені козирки з подовженої верхньої частини випуклостей, розташованих на поверхні пластини в шахматному порядку паралельними рядами вздовж повздовжніх осей випуклостей. Зовнішня поверхня випуклостей 9 може бути виконана хвилястої форми 12.

Апарат псевдозрідженого шару працює наступним чином:

струмені газу, які витікають з торцевих отворів по площині решітки назустріч один одному, псевдозріджують дисперсний матеріал, зіштовхуються та утворюють стійкі потоки циркулюючого матеріалу в псевдозрідженому шарі.

Джерела інформації:

1. Патент на корисну модель, патент UA 86739, МПК F26B 11/00 "Сушарка з киплячим шаром", опубл. 10.01.2014 р.

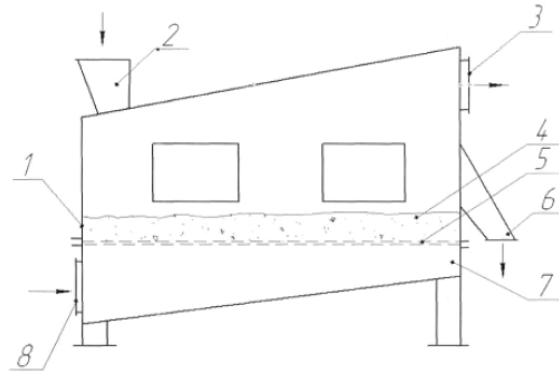
2. Патент US № 5,839,207 "Fluid bed apparatus, a bed plate therefore, and a method of making a bed plate" МПК F26B 3/08, опубл. 24.11.1998.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

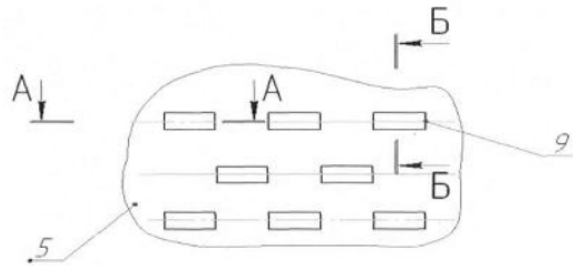
1. Апарат псевдозрідженого шару, що містить корпус, лоток для подачі оброблюваного матеріалу, патрубки для подачі та відводу теплоносія, між дифузореом і корпусом встановлена газорозподільна пластина з отворами у вигляді випуклостей прямокутної форми з щілиноподібними отворами для виходу газу, який відрізняється тим, що випуклості на

газорозподільній пластині мають продовгову форму та розміщені паралельними рядами у шаховому порядку.

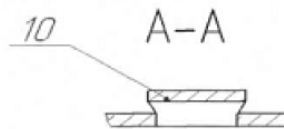
2. Апарат псевдозрідженого шару за п. 1, який **відрізняється** тим, що зовнішня поверхня випуклостей на пластині містить хвилясту форму.



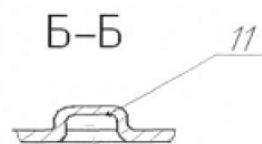
Фиг. 1



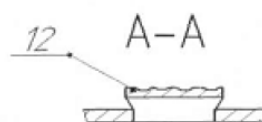
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

### **Додаток 3. Ліцензія на використання патенту**

**АКТ № Л/17-11**  
здавання – приймання  
документів КПІ ім. Ігоря Сікорського  
складено 18.12. 2017 р.

Ми, що нижче підписалися, проректор з наукової роботи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Ільченко Михайло Юхимович, який діє на підставі доручення ректора №85 від 21.08.2017 р. з однієї сторони, та директор ТОВ «Цеоліт-Біо» Станецький Антон Геннадійович, що діє на підставі Статуту з іншої сторони, склали цей акт про те, що згідно з Ліцензійним договором № Л/17-11 від 18.12.17, укладеним між КПІ ім. Ігоря Сікорського та ТОВ «Цеоліт-Біо», здійснено передачу технічної документації, що необхідна для виконання умов договору.

Прийнято наступні документи:

1. Копія патенту України № 114591 на корисну модель «Апарат псевдозрідженого шару».
2. Копія витягу з бази даних інформаційно-довідкової системи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності» (ДП «Укрпатент») щодо чинності патенту України № 114591 на корисну модель «Апарат псевдозрідженого шару», на дату укладення Договору.

**ПІДПИСИ СТОРІН**

Від КПІ ім. Ігоря Сікорського

Від ТОВ «Цеоліт-Біо»

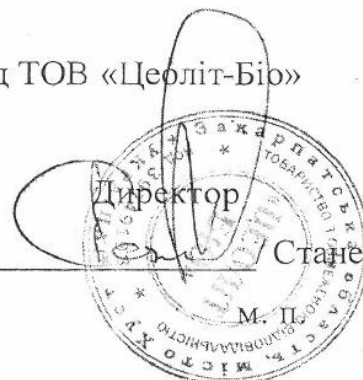
Проректор

Ільченко М.Ю./



Директор

Станецький А.Г./



- 8.3. Дію цього Договору може бути продовжено, припинено або змінено за взаємною згодою Сторін. За відсутністю протягом 1 місяця після спливу строку дії даного Договору заяви однієї зі Сторін про припинення Договору, Договір вважається продовженим на той самий строк та на тих самих умовах. Закінчення строку дії цього Договору не звільняє Сторони від відповідальності за його порушення, яке мало місце під час дії цього Договору.
- 8.4. Кожна Сторона має право на дострокове розірвання цього Договору шляхом письмового повідомлення іншої Сторони з наведенням ґрунтовних причин не менш як за 1 (один) місяць.
- 8.5. Якщо цей Договір буде розірвано внаслідок невиконання Ліцензіатом своїх обов'язків, Ліцензіат позбавляється права на використання ОПІВ у будь-якій формі та відшкодовує Ліцензіарові завдані збитки.
- 8.6. У разі визнання патенту на ОПІВ недійсним повністю або частково чи при достроковому припиненні дії патенту до закінчення строку дії цього Договору, або при невиконанні Ліцензіатом своїх обов'язків, Сторони врегульовують правовідносини у відповідності з умовами цього Договору, а також керуючись нормами чинного законодавства України.

## 9. Інші умови

- 9.1. Договір має юридичну силу лише в період дії патенту на корисну модель № 114591, зареєстрованого 10.03.2017 р. в Державному реєстрі патентів України.
- 9.2. Всі зміни і/або доповнення до Договору оформлюються письмово, підписуються уповноваженими на це представниками Сторін і є невід'ємною частиною Договору.
- 9.3. Всі витрати, пов'язані з укладенням і виконанням цього Договору, несе Ліцензіат.
- 9.4. Закінчення строку дії Договору не тягне припинення зобов'язань Сторін, визначених в Договорі, які виникли до закінчення строку його дії і які є невиконаними до моменту закінчення строку дії Договору.
- 9.5. По всіх питаннях, що не врегульовані Договором, Сторони керуються нормами чинного законодавства України.
- 9.6. Цей Договір складений при повному розумінні Сторонами його умов та термінології українською мовою в двох автентичних примірниках на 3 сторінках, які мають однакову юридичну силу, - по одному для кожної із Сторін.

## 10. Реквізити сторін

### ЛІЦЕНЗІАР

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37  
Код ЄДРПОУ 02070921  
р/р 31254226113853 в ДКСУ м. Києва  
МФО 820172  
**в призначенні платежу вказати:**  
**для б.н. 501 КПКВК 2201040**  
Свідоцтво платника податку № 36112954  
ПІН № 020709226587  
Тел./факс: (044) 236-40-56



### ЛІЦЕНЗІАТ

ТОВ «Цеоліт-Біо»  
90400, Закарпатська обл., місто Хуст,  
вулиця Заводська, будинок 1, корпус А  
Код ЄДРПОУ 39749198  
р/р 26009300545385 в ПАТ «Ощадбанк»  
МФО 312356  
Інд. под. № 397491907171  
Тел.: (099) 0772354, (098) 7030244



## **Додаток И. Публікації автора**



Marchevsky V.,  
Novokhat O.,  
Margarian A.

## ANALYSIS OF THE RESEARCH RESULTS OF THE ZEOLITE DRYING PROCESS

Об'єктом дослідження є процес сушіння цеоліту радіаційним способом. В якості дослідних зразків використано сипучий цеоліт двох фракцій (0–1 мм та 0–5 мм). Сушіння відбувалось за товщини шару цеоліту, рівній 3 та 5 мм. За джерело теплової енергії використано електричний інфрачервоний випромінювач керамічного типу з номінальною електричною потужністю 1 кВт. Встановлено вплив величини фракцій цеоліту, товщини шару цеоліту під час сушіння, а також густини теплового потоку на кінетику процесу сушіння. Визначено чисельні значення часу сушіння цеоліту в різних періодах сушіння. Згідно аналізу результатів дослідження сушіння цеоліту радіаційним способом встановлено, що кінетичні закономірності цього процесу подібні процесу сушіння капілярно-пористих тіл. Тривалість періодів сушіння залежить від густини теплового потоку і зменшується зі збільшенням густини теплового потоку. А збільшення величини фракцій цеоліту інтенсифікує процес сушіння в періодах прогріву та першому періоді сушіння, проте не впливає на швидкість сушіння в другому періоді. Також визначений вплив параметрів процесу сушіння на вологовміст в кінці першого періоду. Температура цеоліту в першому періоді сушіння не є постійною, а збільшується. Це свідчить про надлишок теплової енергії, що подається в цей період. Аналіз результатів дослідження також показав, що час сушіння цеоліту фракції 0–5 мм менший, ніж фракції 0–1 мм. Тому доцільно сушити цеоліт фракції 0–5 мм та, в разі необхідності, додатково подрібнювати вже після процесу сушіння. Це дозволить зменшити енерговитрати та час виробництва цеоліту в цілому. Отримані криві сушіння цеоліту дають змогу прогнозувати характер протікання процесу та можуть бути використані для проектування сушильних установок.

**Ключові слова:** сушіння цеоліту, час сушіння, радіаційний спосіб сушіння, інфрачервоне випромінювання, криві сушіння.

### 1. Introduction

Zeolite is a common material used in the agricultural sector, food, chemical and petrochemical industries, medicine, construction, etc. [1]. And the prospects for the use of zeolite, in particular in the food industry, are favorable [2]. Zeolite can be attributed to the group of capillary-porous mineral materials. However, it is not known, the characteristic kinetic laws governing the drying of a zeolite by a radiation method using typical curves of drying capillary-porous bodies. Indeed, in the literature, as a rule, convective and contact methods for drying a zeolite are described [3]. Although it is possible to meet in relation to non-standard methods of drying zeolite, for example, using microwave energy [4]. Mathematical models of the process of drying sorbents by the above methods of drying, including zeolite, are available in the literature [5-7]. It is possible to find a description of the drying processes of various materials in the dryer using sorbents [8-10]. However, there are no kinetic patterns of zeolite drying using infrared radiation energy (radiation drying method) and recommendations for this process. So, *the object of research* is the process of drying the zeolite by the radiation method. And *the aim of research* is determination of the kinetic laws of zeolite drying process by radiation.

### 2. Methods of research

Experimental studies of the zeolite drying process were performed on a computerized unit [11]. It allows to continuously measure the mass change of the sample during the drying process. The measurement results with

a frequency of 3 Hz were transferred to a computer for registration and further processing. According to the source of thermal energy, an electric infrared emitter of ceramic type with a nominal electric power of 1 kW was used. To reduce heat losses from the radiator to the environment, a reflector was installed above the radiator.

For the study, samples of a hydrated zeolite fraction of 0–1 mm with an initial moisture content of about 30 % were used. The zeolite particles were enclosed by a dense layer 1 mm high on a metal substrate mounted on an electronic scale under the working surface of an infrared emitter.

### 3. Research results and discussion

Curves of zeolite drying are constructed at different heat flux densities  $q$ , W/m<sup>2</sup> (Fig. 1), the shape of which is characteristic of capillary-porous bodies, for example, paper [12]. And the zeolite itself does not significantly affect the kinetic regularities of the process of drying paper as filler [13].

The initial moisture content  $u_0$  of the zeolite, the moisture content at the beginning  $u_1$  and at the end  $u_{1k}$  of the warm-up time period  $\tau_w$  and  $\tau_{1k}$ , drying time  $\tau_\Sigma$  to humidity  $w=2$  % and drying rate in the first period  $N$  according to Fig. 1 are given in Table 1.

The rectilinear portions of the drying curves (the first drying period) reflect the evaporation of surface moisture and moisture from large capillaries. The speeds of these processes are constant. With increasing heat flux density, the evaporation rate increases proportionally, and the drying time decreases.



**Fwd: Рахунок\_8\_70\_19**

INTERNAUKA <editor@inter-nauka.com>  
Кому: margarjan7@gmail.com

17 мая 2019 г., 20:30

Вітаємо!

Вдячні Вам за інтерес до наукових видань Видавничого дому "Інтернаука"!

Подана стаття (1) в Мультидисциплінарний Міжнародний науковий журнал **"Інтернаука"** пройшла рецензування і рекомендована до публікації у 8-му (70) номері журналу за 2019 рік.

**Оплата за СТАНДАРТНУ (протягом 7-ми роб.днів) публікацію статті становить 580,00 грн.**

**Оплата за ТЕРМІНОВУ (протягом 48-ми год.) публікацію статті становить 1300,00 грн.**

**і включає:**

-розміщення статті (1) на офіційному веб-сайті Міжнародного наукового журналу "Інтернаука" (протягом 7-ми днів/48 год. після оплати);

-розсилка журналу у форматі pdf, після остаточної верстки (до 30.06.2019);

**ДОДАТКОВО ПРОПОНУЄМО:**

-свідцтво (2) (2 автора), що підтверджує розміщення статті в електронному вигляді (протягом 7-ми днів/48 год. після оплати);

-відправка друкованого збірника у кількості 1 шт. (до 30.06.2019);

- міжнародний ідентифікатор DOI (вимога ВАК);

-друковане свідцтво (1) (1 автор), що підтверджує розміщення статті (до 30.05.2019);

-довідка про участь у науковій темі.

Оплатити публікацію Ви можете онлайн по системі Liqpay з допомогою платіжних карт **VISA, MasterCard** (Гіпер-посилання для оплати: <http://www.inter-nauka.com/about/pay-article/>) або шляхом поповнення карткового рахунку в ПАТ "КБ "ПриватБанк" по системі Приват 24.

**Номер картки:** 5169 3305 1043 0173

**Одержувач:** Коваленко Дмитро Іванович.

Також, оплатити публікацію Ви можете у терміналах самообслуговування ПАТ КБ "ПриватБанк" або у **будь-якому банку України** за наступними реквізитами:

Одержувач: ФОП Коваленко Дмитро Іванович

Рахунок отримувача: 26006056231068

Банк Отримувача: ПАТ КБ "Приватбанк"

МФО 380269

Код ЄДРПОУ 2765612034

Призначення платежу: За підготовку матеріалів (ІПБ автора) для публікації у МНЖ "Інтернаука".

**Після оплати просимо повідомити ID платежу або надіслати скан-копію (фотокопію) платіжного доручення на e-mail: [editor@inter-nauka.com](mailto:editor@inter-nauka.com)**

Best regards,

Publishing house "Internauka"

<http://www.inter-nauka.com>

[editor@inter-nauka.com](mailto:editor@inter-nauka.com)

Phone: +38(044) 222-5889

Phone: +38(095) 836-1311



: +38(067) 401-8435

## ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОРОЗПОДІЛЬЧОЇ РЕШІТКИ АПАРАТУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

студент Маргарян А.А., к.т.н., професор Марчевський В.М.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Одним із основних критеріїв процесу конвективного сушіння є розподілення теплоносія в об'ємі псевдозрідженого шару. Цей критерій напряму залежить від гідравлічного опору газорозподільчої решітки, конструктивні особливості якого наведено в [1].

В результаті експерименту було встановлено залежність гідравлічного опору від швидкості повітря в апараті (рис. 1).

Для правильного розрахунку та проектування апарату псевдозрідженого шару з такими параметрами, необхідно визначити коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільчого пристрою. На рисунках 2 та 3 наведено залежності гідравлічного опору решітки від швидкісного напору в апараті та в отворах відповідно. Залежність визначена за методикою, наведеною в [2].

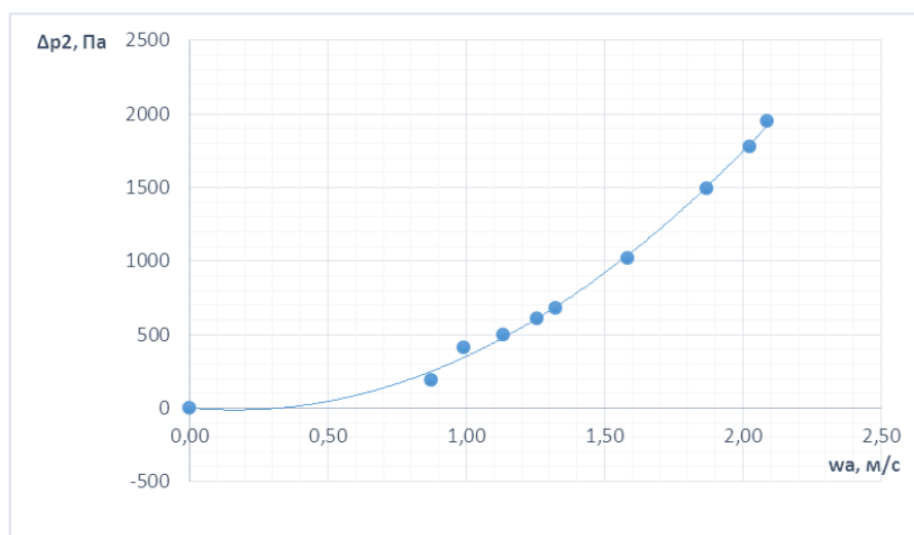


Рисунок 1 – Експериментальна залежність гідравлічного опору решітки від об'ємних витрат повітря

## ФІЗИЧНА ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ

студент Маргарян А.А., к.т.н., професор Марчевський В.М.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Рушійною силою процесу сушіння в першому періоді є різниця між тиском насиченої водяної пари в пограничному шарі на поверхні цеоліту та парціальним тиском пари в навколишньому середовищі, а в другому періоді сушіння – різниця між величинами поточного та кінцевого рівноважного вологовмісту.

Під час сушіння випаровування вологи може відбуватися не тільки з поверхні цеоліту, а й з більш глибоких шарів (рис. 1) [1].

У цеоліті, як капілярно-пористому тілі, знаходиться вільна волога, волога в мікрокапілярах та адсорбційно зв'язана волога. У першому періоді сушіння випаровується вільна волога, а швидкість процесу обмежена інтенсивністю теплового потоку. У другому періоді сушіння швидкість спочатку обмежена дифузією вологи в зону випаровування (видалення вологи в мікрокапілярах), а під кінець сушіння лімітується руйнуванням адсорбційних зв'язків вологи з цеолітом та її випаровуванням.

До початку сушіння вологовміст та температура однакові по всьому радіусу цеоліту. Під час сушіння в поверхневих шарах, де найвища кількість поглинутої теплоти від нагрітого теплоносія, значення температури найбільше, а вологовміст найменший. Оскільки під час сушіння цеоліту тепловий потік зменшується по товщині частинки, то температура, відповідно, спадає, а вологовміст збільшується із рухом до центру частинки. В кінці сушіння вологовміст досягає рівноважного значення та вирівнюється.

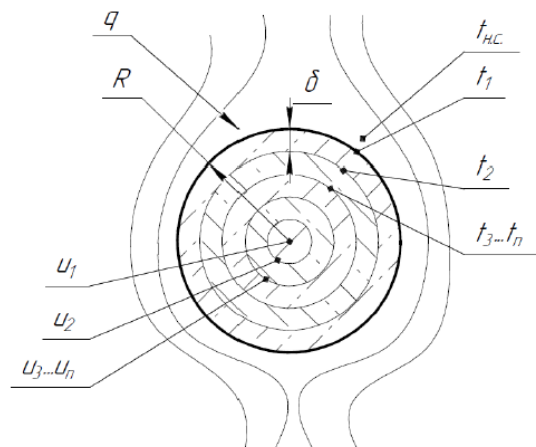


Рисунок 1 – Фізична модель процесу конвективного сушіння цеоліту

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ СФЕРИЧНИХ ЧАСТИНОК ЦЕОЛІТУ**

магістрант Маргарян А.А., к.т.н., професор Марчевський В.М.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

Основною задачею даної роботи є встановлення кінетичних закономірностей процесу сушіння цеоліту задля проектування промислового обладнання.

Рухийною силою процесу сушіння цеоліту в першому періоді є різниця між тиском насиченої водяної пари в пограничному шарі на поверхні цеоліту та парціальним тиском пари в навколишньому середовищі, а в другому періоді сушіння – різниця між величинами поточного та кінцевого рівноважного вологовмісту цеоліту.

У цеоліті, як капілярно-пористому тілі, знаходиться вільна волога, волога в мікрокапілярах та адсорбційно зв'язана волога. У першому періоді сушіння випаровується вільна волога, а швидкість процесу обмежена інтенсивністю теплового потоку. У другому періоді сушіння швидкість спочатку обмежена дифузією вологи в зону випаровування (видалення вологи в мікрокапілярах), а під кінець сушіння лімітується руйнуванням адсорбційних зв'язків вологи з цеолітом та її випаровуванням.

До початку сушіння вологовміст та температура однакові по всьому радіусу сферичної частинки цеоліту. Під час сушіння в поверхневих шарах, де найвища кількість поглинутої теплоти від нагрітого теплоносія, значення температури найбільше, а вологовміст найменший. Оскільки під час сушіння цеоліту тепловий потік зменшується по товщині частинки, то температура, відповідно, спадає, а вологовміст збільшується із рухом до центру частинки. В кінці сушіння вологовміст досягає рівноважного значення та вирівнюється [1]. Технологічний режим в обладнанні для конвективного сушіння та прийняте спрощення конфігурації частинок цеоліту дають можливість розглядати цей процес як одновимірний в радіальному напрямку сферичного тіла. Математична модель даного процесу для сферичних частинок включає рівняння теплопровідності та рівняння кінетики сушіння [2]:

## КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЦЕОЛІТУ

магістрант Маргарян А.А., к.т.н., професор Марчевський В.М.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Цеоліти (в перекладі з грецької мови – киплячий камінь) – алюмосилікатні мінерали синтетичного і природного походження (осадові і вулканічні).

Аналіз властивостей цеолітів показує, що як об'єкт сушіння його можна віднести до групи капілярно-пористих мінеральних матеріалів з розвиненою пористою зовнішньою поверхнею і системою мікрокапілярів в обсязі матеріалу, утворених кристалами, в кристалічній решітці яких знаходиться цеолітна (очевидно, кристалогідратна) вода [1].

Для видалення цеолітної води шляхом висушування необхідні підвищена витрата теплової енергії і температура нагрівання до  $350 \div 400$  °С. Це ускладнює процес сушіння цеоліту, тому що поряд з вільною вологою потрібно видаляти зв'язану цеолітну (кристалогідратну) воду і виводити пару через дуже тонкі ( $2 \div 9$  Ангстрем) капіляри [2].

Отримані криві сушіння (рисунок 1) за формою аналогічні кривим сушки капілярно-пористих тіл.

Початкові прямолінійні ділянки кривих сушіння від  $u_0 = 0,31$  до  $u_1 = 0,13$  відображають випаровування поверхневої вологи і вологи великих капілярів. Швидкості цих процесів постійні. Зі збільшенням щільності теплового потоку пропорційно збільшується швидкість випаровування. Процес випаровування в першому періоді триває відповідно 50 с, 80 с, 100 с.

Тривалість другого періоду, в якому випаровується волога мікрокапілярів і цеолітів вода від  $u_1 = 0,13$  до  $u_2 = 0,001$ , тобто до 1%, триває відповідно 130 с, 240 с, 340 с.